

30-0126/001

SYSTEMATISCHE AUSWERTUNG VON SCHUBVERSUCHEN AN  
SPANNBETONBALKEN

Abschlußbericht

vorgelegt

von

o.Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. K. Kordina  
Dr.-Ing. J. Hegger

DASt 11  
Institut für Stahlbetonbau und Stahlbau  
der Universität Braunschweig  
Postfach 101553  
3300 Braunschweig

Braunschweig, November 1985

Gefördert mit Forschungsmitteln des Deutschen Ausschusses  
für Stahlbeton ( Az. : N VII V 246 1/84 )

## INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG . . . . .	1
2	DERZEITIGER KENNTNISSTAND ZUM SCHUBTRAG- VERHALTEN VON STAHLBETON- UND SPANN- BETONBALKEN . . . . .	4
2.1	Allgemeines . . . . .	4
2.2	Mechanismen zur Querkraftabtragung	6
2.3	Arten des Schubversagens . . . . .	9
2.4	Schubtragmodelle und Bemessungs- ansätze . . . . .	13
2.5	Vergleich der Bemessungsansätze	21
3	ENTWICKLUNG EINES TRAGMODELLS ZUR ER- MITTLUNG DER SCHUBTRAGFÄHIGKEIT . . .	29
3.1	Gewählter Bemessungsansatz . . .	29
3.2	Tragfähigkeit der Schubbewehrung	32
3.3	Einflußgrößen auf den Betontrag- anteil . . . . .	35
3.3.1	Betonfestigkeit . . . . .	37
3.3.2	Längsbewehrungsgrad . . . . .	40
3.3.3	Bauteilhöhe . . . . .	42
3.3.4	Schubbewehrungsgrad . . . . .	45
3.3.5	Querschnittsform . . . . .	47
3.3.6	Einfluß der Vorspannung . . .	49
3.4	Querkraftanteil geneigter Spann- glieder . . . . .	55
3.5	Druckstrebentragfähigkeit . . . . .	56
3.6	Zusammenfassung zu einem Rechen- ansatz . . . . .	61
3.7	Vergleich mit anderen Bemessungsan- sätzen . . . . .	63
4	BEMESSUNGSVORSCHLAG . . . . .	67

5 VERGLEICH DES BEMESSUNGSVORSCHLAGES MIT DEN NORMEN . . . . .	70
6 ZUSAMMENFASSUNG . . . . .	78
7 LITERATURVERZEICHNIS . . . . .	81
ANHANG . . . . .	90

Tabelle A1 : Gleichungen zur Ermittlung  
der Schubtragfähigkeit

Tabelle A2 : Daten der ausgewerteten  
Schubversuche

## BEZEICHNUNGEN

### 1. Große lateinische Buchstaben

$A_b$	Querschnittsfläche des Betons
$A_s$	Querschnittsfläche der Betonstahlbewehrung
$A_v$	Querschnittsfläche der Spannbewehrung
$E_v, E_s, E_b$	E-Modul des Spannstahles, des Betonstahles, des Betons
$M_o$	Dekompressionsmoment
$M_u$	Bruchmoment
$N_v$	Normalkraft infolge Vorspannung
$Q$	Querkraft
$Q_u$	Querkraft im Bruchzustand
$Q_b$	Betontraganteil
$Q_s$	Querkraftanteil der Schubbewehrung
$Q_v$	Querkraftanteil geneigter Spannglieder
$Q_D$	Druckstrebentragfähigkeit

### 2. Kleine lateinische Buchstaben

$a$	Schubhebelarm
$a_{bü}$	Bügelabstand
$a_{s,s}$	Schubbewehrung pro Längeneinheit
$a_{s,bü}$	Bügelbewehrung pro Längeneinheit
$b$	Plattenbreite
$b_o$	Stegdicke
$d$	Bauhöhe
$d_o$	Plattendicke bei Plattenbalken

$f_b$	$\sqrt{B_W}$ , Grundwert der Schubfestigkeit in $N/mm^2$
$f_L, f_h,$ $f_s, f_F,$ $f_v$	dimensionslose Beiwerte für den Längsbewehrungsgehalt, die Bauteilhöhe, den Schubbewehrungsgrad, die Querschnittsform und den Vorspanngrad bei der Ermittlung des Betontraganteils
$h_s, h_v$	Nutzhöhe des Beton-, Spannstahls
$l$	Stützweite
$n$	Verhältnis der E-Moduli
$r$	Regressionskoeffizient
$s$	Standardabweichung
$v$	Variationskoeffizient
$x$	Höhe der Druckzone
$\bar{x}$	Mittelwert
$z$	Hebelarm der inneren Kräfte

### 3. Griechische Buchstaben

$\alpha$	Winkel zwischen Achse der Schubbewehrung und Balkenlängsachse, Spanngliedneigung
$\vartheta$	Winkel zwischen Druckstreben und Balkenlängsachse
$\beta_{BZ}$	Biegezugfestigkeit des Betons
$\beta_C$	Zylinderdruckfestigkeit des Betons
$\beta_P$	Prismendruckfestigkeit des Betons
$\beta_W$	Würfeldruckfestigkeit des Betons
$\beta_{WN}$	Nennfestigkeit des Betons
$\beta_{WS}$	Serienfestigkeit des Betons

$\beta_R$	Rechenwert der Betondruckfestigkeit
$\beta_Z$	Zugfestigkeit des Betons
$\beta_{s,s}, \beta_{s,v}$	Streckgrenze des Betonstahls, des Spannstahls
$\beta_{v,s}, \beta_{z,z}$	Zugfestigkeit des Betonstahls, des Spannstahls
$\Delta\tau$	Korrekturwert des Betontraganteils
$\mu_L$	$100 (A_v + A_s)/(b_o \cdot h)$
$\mu_{s,s}, \mu_{s,bü}$	Schub-, Bügelbewehrungsgrad
$\tau_u$	$Q_u/(b_o \cdot 0,9 \cdot h)$ Bruchschubspannung

## Vorwort

Die vorliegende Untersuchung zur Schubtragfähigkeit von Spannbetonbalken wurde mit Forschungsmitteln des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton gefördert.

Die Verfasser danken allen, die bei der Durchführung des Forschungsvorhabens mitgewirkt haben, sowie den Mitgliedern der Beratergruppe, den Herren

Dr.-Ing. K. Rahlwes  
und Prof. Dr.-Ing. J. Schlaich,

für die kritische Durchsicht des Abschlußberichtes.

## 1 EINLEITUNG

Zu einem vollständigen Nachweis der Grenztragfähigkeit gehört neben der Überprüfung der Biegebruchsicherheit der Nachweis der Schubtragfähigkeit. Während die Ermittlung der Biegebruchsicherheit in der Literatur weitgehend einheitlich behandelt wird, zeigen sich bei der Beurteilung des Tragverhaltens unter Querkraftbeanspruchung noch deutliche Unterschiede. Trotz umfangreicher Forschungstätigkeit scheint es bisher nicht geklärt, in welchem Maße einzelne Parameter die Schubtragfähigkeit beeinflussen. In den gebräuchlichen Bemessungsansätzen werden zwar die Hauptparameter wie Schubbewehrungsgrad, Betonfestigkeit und Vorspanngrad in der Tendenz gleich behandelt, jedoch wird die Wertigkeit der Einflüsse untereinander unterschiedlich eingeschätzt. Da für einen Bemessungsansatz neben einer qualitativen Aussage auch die Kenntnis der quantitativen Zusammenhänge erforderlich ist, wurde anhand vorliegender Versuchsdaten eine möglichst umfassende Parameterstudie zur Schubtragfähigkeit durchgeführt.

Die bislang zum Schubtragverhalten veröffentlichten Arbeiten lassen sich im wesentlichen folgenden Theorien zuordnen:

- Bruchhypothesen der Betondruckzone
- Fachwerkanalogien in modifizierter und erweiterter Form
- Hypothesen auf Grundlage der Plastizitätstheorie



Die aus diesen Theorien abgeleiteten Bemessungsansätze sind weitgehend rein physikalische Bemessungsmodelle. Teilweise werden die Bemessungsansätze aber auch durch empirische "Korrekturgrößen" erweitert und gehen im Grenzfall in rein empirisch gefundene Lösungen über.

Während zum Schubtragverhalten von Stahlbetonbalken in neuerer Zeit mehrere grundlegende Untersuchungen /44,47,54/ durchgeführt wurden, liegt auf dem Gebiet des Spannbetons eine zusammenfassende Beurteilung des Schubtragverhaltens noch nicht vor. Für eine derartige Untersuchung sind folgende Fragestellungen von besonderem Interesse:

- Wie trägt ein Spannbetonbalken im Querkraftbereich und welchen Einfluß hat die Höhe des Vorspanngrades?
- Wie hoch ist die Schubbruchlast eines Spannbetonquerschnittes?

Das Tragverhalten von Spannbetonbalken mit Verbund ist zwar im wesentlichen ähnlich dem von Stahlbetonbalken, jedoch ist noch weitgehend ungeklärt, wie der Einfluß der Vorspannung bei der Schubbemessung berücksichtigt werden kann. Versuche am Otto-Graf-Institut in Stuttgart /40/ und an der E.T.H. Zürich /64/ haben gezeigt, daß die Vorspannung die Stegzugkräfte mit zunehmendem Vorspanngrad verringert, was einer Verminderung der erforderlichen Schubbewehrung entspricht. Diese Versuchsergebnisse werden teilweise in der CEB-Mustervorschrift /10/ berücksichtigt,

nicht jedoch in DIN 4227/1 /15/, wonach die Schubtragfähigkeit weitgehend unabhängig vom Vorspanngrad bestimmt wird. Eine grundlegende Auswertung der in der Literatur beschriebenen Schubversuche an Spannbetonbalken und die Entwicklung eines Rechenansatzes zur Berücksichtigung des Vorspanngrades ist daher besonders im Hinblick auf eine wirtschaftliche Bemessung erwünscht.

## 2 DERZEITIGER KENNTNISSTAND ZUM SCHUBTRAG VERHALTEN VON STAHLBETON- UND SPANNBETONBALKEN

### 2.1 Allgemeines

In den letzten 40 Jahren sind zahlreiche Untersuchungen zum Schubtragverhalten von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen durchgeführt worden, die zu einer Reihe von unterschiedlichen Bemessungskonzepten führten. Trotz dieser umfangreichen Forschungstätigkeit gelang es bisher nicht, ein einheitliches Schubbemessungs-Konzept zu entwickeln, das den gesamten Bereich der Schubbemessung umfaßt, angefangen bei Bauteilen ohne Schubbewehrung bis hin zu schubbewehrten Spannbetonbalken mit und ohne Verbund.

Versuche an Stahlbeton- und Spannbetonbalken haben gezeigt, daß keine grundsätzlichen Unterschiede im Schubtragverhalten zwischen Stahlbeton und Spannbeton bestehen und somit ein gemeinsames Bemessungsmodell möglich ist. In der CEB-Mustervorschrift von 1978 /10/ wurde ein erster Versuch gemacht, für schubbewehrte Stahlbeton- und Spannbetonbalken ein einheitliches Bemessungskonzept anzugeben. Die im Vergleich zum Stahlbeton höhere Schubtragfähigkeit von Spannbetonbalken wird durch eine Vergrößerung des sogenannten "Betonabzugswertes" berücksichtigt. Der Betonabzugswert, der die von einem  $45^{\circ}$  -Fachwerkmodell abweichenden Querkraftanteile zusammenfaßt, wird für Spannbetonbalken zusätzlich direkt an den Vorspanngrad gekoppelt.

In den augenblicklich gültigen Fassungen von DIN 1045 /14/ und DIN 4227/1 /15/ sind bisher noch für Stahlbeton und Spannbeton zwei unterschiedliche Bemessungsverfahren vorgesehen, so daß ein kontinuierlicher Übergang bei der Bemessung vom Stahlbeton zum Spannbeton fehlt. Die bestehenden Bestrebungen, das Bemessungskonzept von DIN 1045 an DIN 4227/1 anzupassen, können nur als eine Teillösung des Problems angesehen werden, da mit DIN 4227/1 der Einfluß der Höhe der Vorspannung auch weiterhin nur unbefriedigend berücksichtigt wird.

## 2.2 Mechanismen zur Querkraftabtragung

Die Querkrafttragfähigkeit eines Stahlbeton- oder Spannbetonbalkens setzt sich aus mehreren Tragwirkungen zusammen, die entsprechend den geometrischen Verhältnissen, dem Bewehrungsgehalt und der Belastungshöhe unterschiedlich große Anteile besitzen. Solange der Balken im homogenen Zustand I bleibt, erfolgt die Querkraftabtragung nahezu ausschließlich über den Betonquerschnitt, wobei die vorhandene Schubbewehrung entsprechend dem Steifigkeitsunterschied zwischen dem ungerissenen Beton und der Bügelbewehrung nur gering beansprucht wird. Sobald die Hauptzugspannungen im Stegbereich die Zugfestigkeit des Betons überschreiten, entstehen Schubrisse, die zu einer Umlagerung des inneren Kräftezustandes führen. Im Zustand II sind im wesentlichen folgende Schubtragwirkungen (Bild 2.1) festzustellen:

### - Querkraftanteil der Biegedruckzone

Der Druckgurt übernimmt durch die Vertikal-komponente der zum Auflager hin geneigten Biegedruckkraft einen Anteil der aufzunehmenden Querkraft. Der Anteil der Biegedruckzone wird umso größer, je stärker die resultierende Biegedruckkraft geneigt ist /36,39/.

### - Dübelwirkung der Bewehrung

Ein Teil der Querkraft wird durch Dübelwirkung der Bewehrung abgetragen, indem die Bewehrungsstäbe eine Verschiebung der Rißufer verhindern. Die über Dübelwirkung aufnehmbare Querkraft ist abhängig vom Bewehrungsgrad, dem Durchmesser der Bewehrung und von der Zugfestigkeit des Betons /4/.

- Vertikalkomponente der Rißverzahnung

Auch nach der Schubrißbildung werden über Kornverzahnung der Rißflächen (aggregate interlock) senkrecht und parallel zu den Rißufern Kräfte übertragen. Die Tragfähigkeit der Rißverzahnung ist bei geringen Verschiebungen der Rißufer am größten; mit zunehmender Rißbreite und Parallelverschiebung der Rißufer verliert sie ihre Wirksamkeit /66/.

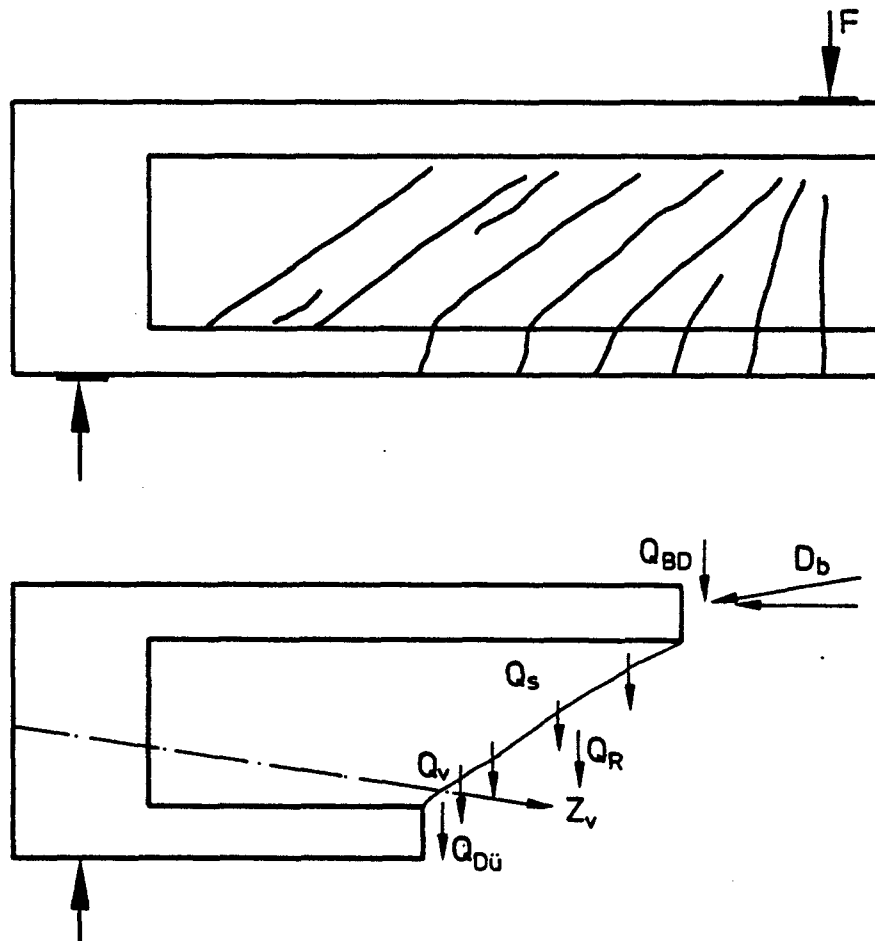
- Vertikalkomponente der Spannglieder

Geneigte Spannglieder können mit der Vertikalkomponente der Spanngliedkraft direkt zur Querkraftabtragung beitragen. Allerdings ist der günstige Einfluß von geneigten Spanngliedern an Endauflagern nur dann gesichert, wenn bei höherer Lage der Spanngliedverankerung am unteren Trägerrand eine ausreichende schlaaffe Längsbewehrung vorhanden ist /3,39/.

- Querkraftanteil der Schubbewehrung

Der dem Steg zufallende Anteil der Querkraft wird über Fachwerkwirkung abgetragen, wobei die Schubbewehrung die Aufgabe der Zugpfosten übernimmt. Die Schubbewehrung verbindet die durch Rißbildung entstehenden schräggeneigten "Beton-Zähne" und bildet auf diese Weise zusammen mit den Betondruckstreben ein engmaschiges Netzfachwerk. Der Querkraftanteil der Schubbewehrung nimmt mit dem Schubbewehrungsgrad deutlich zu und erreicht bei hochschubbewehrten Balken annähernd 80 % der gesamten Querkrafttragfähigkeit.

Die Aufteilung der Querkraft auf die beschriebenen Tragwirkungen ist in erster Linie von der Lasthöhe abhängig, da sich die Stei-



- $Q_s$  Querkraftanteil der Schubbewehrung
- $Q_R$  Rißverzahnung
- $Q_{Dü}$  Dübelwirkung der Längsbewehrung
- $Q_{BD}$  Querkraftanteil der Druckzone
- $Q_v$  Querkraftanteil geneigter Spannglieder

Bild 2.1: Elemente der Querkraftabtragung

figkeit der einzelnen Tragmechanismen mit der Beanspruchungshöhe ändert. Kurz nach der Schubrißbildung sind die Rißbreiten und Parallelverschiebungen der Schubrisse noch gering, so daß die Querkraftaufnahme im wesentlichen über Rißverzahnung und durch die ungerissene Biegedruckzone erfolgt. Wenn mit wachsender Rißbreite und Rißverschiebung die Wirksamkeit der Rißverzahnung abnimmt, werden die Dübelwirkung der Längsbewehrung und die

Schubbewehrung aktiviert. Ist eine engmaschige Bügelbewehrung vorhanden, wird die Tragwirkung der Rißverzahnung im Vergleich zu Balken ohne oder mit nur geringer Schubbewehrung erst allmählich nachlassen, da die Schubbewehrung ein plötzliches Aufklaffen der Schubrisse verhindert. Die Querkrafttragfähigkeit infolge Dübelwirkung der Längsbewehrung ist im Verhältnis zur Schubbewehrung gering, besonders wenn bei enger Bügelbewehrung dieser Anteil direkt auf die Bügel übertragen wird.

Die maximale Schubtragfähigkeit im Bruchzustand ergibt sich aus der Summe der Einzeltragwirkungen. Zur Bestimmung der Bruchtragfähigkeit ist es daher erforderlich, ein Bemessungsmodell zu entwickeln, das die verschiedenen Tragwirkungen nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ richtig erfaßt.

### 2.3 Arten des Schubversagens

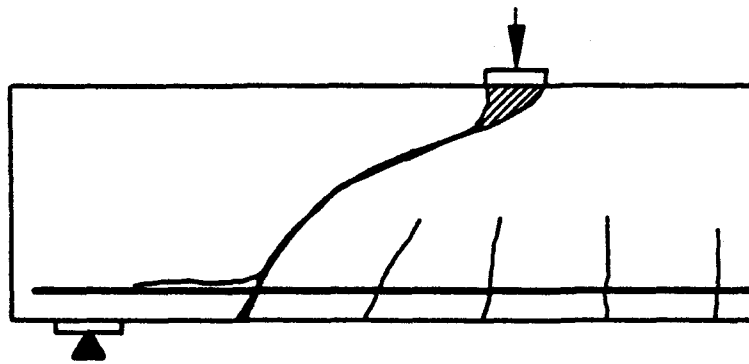
Das Schubversagen eines schubbewehrten Biegetragwerkes wird in der Regel durch einzelne oder mehrere Schubrisse angekündigt. Grundsätzlich kann zwischen zwei Arten von Schubrisen unterschieden werden: Entweder entwickeln sich die Schubrisse aus schon vorhandenen Biegerissen, indem sich diese Risse im Steg senkrecht zu den Hauptzugspannungen fortpflanzen, oder sie entstehen unmittelbar im Stegbereich, wenn die Hauptzugspannungen die Betonzugfestigkeit überschreiten. Das eigentliche Schubversagen verläuft meist recht unterschiedlich, da sich das Gleichgewichtssystem der inneren Kräfte bei der Bela-



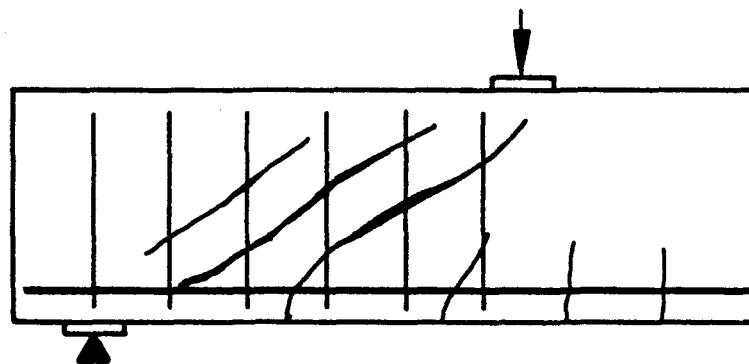
stung bis zum Bruch durch Rißbildungen ständig ändert. Das zu einer beliebigen Laststufe gehörende Rißbild hängt dabei einerseits von den Steifigkeiten der einzelnen Tragwirkungen, andererseits von den zufälligen örtlichen Streuungen der Betonzugfestigkeiten ab. Trotzdem lassen sich die auftretenden Schubversagensformen den folgenden 3 Brucharten zuordnen, wobei die Bruchart nach der letztlich maßgebenden Versagensursache bezeichnet wird:

- Biegeschubversagen

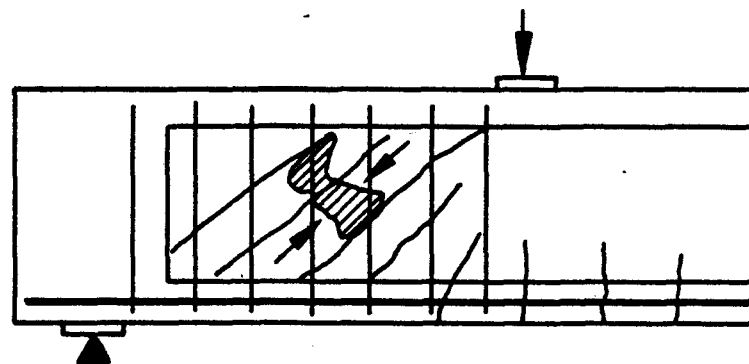
Das Biegeschubversagen (Bild 2.2) tritt im wesentlichen bei Balken ohne oder mit nur geringer Schubbewehrung auf. Der zum Versagen führende Schubriß entwickelt sich entweder aus einem Biegeriß oder entsteht unmittelbar im Steg durch Überschreiten der Betonzugfestigkeit. Die vorhandene Schubbewehrung erreicht unmittelbar bei Schubrißbildung die Streckgrenze, so daß schon eine geringe Laststeigerung eine deutliche Vergrößerung der Schubrißbreiten bewirkt. Die Querkraftaufnahme erfolgt in erster Linie durch die Biegedruckzone und die Dübelwirkung der Längsbewehrung, während die Rißverzahnung aufgrund der großen Schubrißbreiten nur einen geringen Anteil übernimmt. Wenn bei weiterer Laststeigerung die Dübelwirkung der Längsbewehrung ausfällt, wandert der Schubriß schnell mit flacher werdender Neigung in Richtung der Lasteintragsstelle und verkleinert die Biegedruckzone so stark, so daß sie schließlich schlagartig versagt.



**Biegeschubversagen**



**Schubzugbruch**



**Druckstrebenversagen**

Bild 2.2: Arten des Schubversagens

- Schubzugbruch

Bei Balken, die durch einen Schubzugbruch (Bild 2.2) versagen, ist nach der Schubrißbildung noch eine deutliche Laststeigerung möglich, da hier in der Regel eine ausreichende Schubbewehrung vorhanden ist. Die

Schubbewehrung sorgt sowohl für die Begrenzung der Rißbreiten als auch für eine gleichmäßige Rißverteilung. Hierdurch wird ein vorzeitiges Einschnüren der Biegedruckzone verhindert und es kann sich die volle Fachwerkwirkung einstellen. Erst wenn bei weiterer Laststeigerung die Streckgrenze der Schubbewehrung erreicht wird, öffnen sich die Schubrisse schneller und dringen weiter bis zur Biegedruckzone vor. Beim endgültigen Versagen reißen entweder die Bügel oder die Biegedruckzone versagt wie beim Biegeschubbruch.

#### - Druckstrebenversagen

Der Druckstrebenbruch (Bild 2.2) tritt vorwiegend bei hochschubbewehrten profilierten Querschnitten mit dünnen Stegen auf. Im Steg bilden sich ähnlich wie beim Schubzugbruch zunächst zahlreiche Schubrisse mit einer mittleren Neigung zwischen  $35^{\circ}$  und  $45^{\circ}$ . Die aufzunehmende Querkraft wird hauptsächlich über Fachwerkwirkung abgetragen, wobei die Schubbewehrung selbst im Bruchzustand nicht bis zur Streckgrenze beansprucht wird. Sobald die Druckstreben zwischen den Schubrisen ihre Grenztragfähigkeit erreichen, versagt der Balken durch schlagartigen Druckstrebenbruch. Die Druckstrebentragfähigkeit wird auch als obere Grenze der Schubtragfähigkeit bezeichnet.

## 2.4 Schubtragmodelle und Bemessungsansätze

### Fachwerkanalogien

Die sogenannte "Fachwerkanalogie" wurde zu Anfang dieses Jahrhunderts von Ritter /57/ und Mörsch /48/ entwickelt. Nach der klassischen Fachwerkanalogie (Bild 2.3) bildet sich im Zustand II ein Fachwerk mit parallelen Gurten und unter  $45^\circ$  geneigten Druckstreben sowie je nach Neigungswinkel der Schubbewehrung mit zwischen  $45^\circ$  und  $90^\circ$  geneigten Zugstreben aus. Versuche haben jedoch schon bald gezeigt, daß sich häufig eine flachere Neigung der Druckstreben einstellt und die Beanspruchung der Schubbewehrung geringer ist als nach der klassischen Fachwerkanalogie. Während nach Mörsch noch die gesamte Querkraft der Schubbewehrung zugewiesen wird, wurde erst in späteren Untersuchungen die Querkraftabtragung über Rißverzahnung, Dübelwirkung der Längsbewehrung und über Eigensteifigkeit der Druckstreben und des Druckgurtes erkannt.

Aufgrund seiner Einfachheit und Klarheit war das Tragmodell nach Mörsch sowohl Ausgangspunkt für weitere Fachwerktheorien als auch Grundlage zahlreicher Bemessungsvorschriften für Stahlbeton und Spannbeton.

Die Beobachtung, daß die tatsächliche Neigung der Druckstreben flacher als  $45^\circ$  verläuft und auch geringer als die Neigung der Schubrisse sein kann, führten Kupfer /33/ zu der Überlegung, flacher als  $45^\circ$  geneigte Druckstreben anzunehmen. Da bei Druckstrebenneigungen von weniger als  $45^\circ$  die Beanspruchung der Schub-

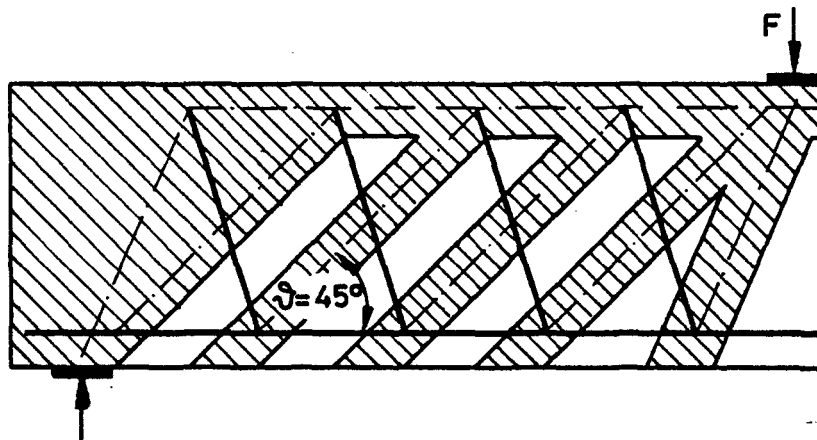


Bild 2.3: Klassische Fachwerkanalogie

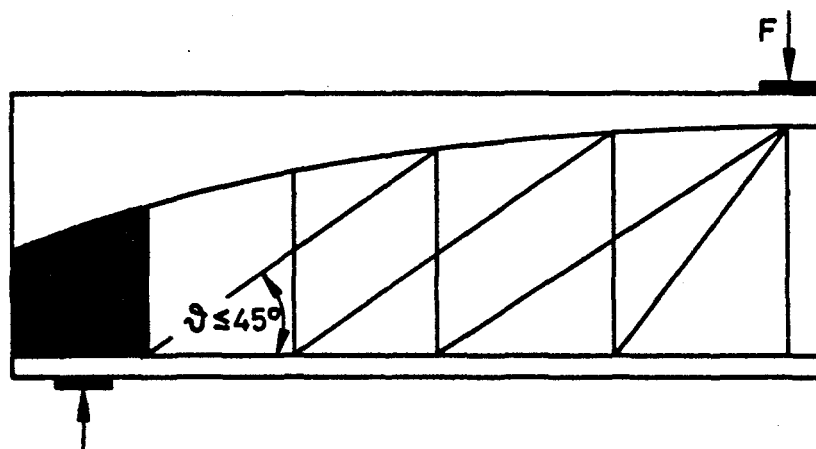


Bild 2.4: Fachwerkmodell nach Leonhardt

bewehrung abnimmt, konnte er mit dieser Annahme eine bessere Übereinstimmung mit Versuchsergebnissen erzielen, ohne dabei das im Stahlbeton allgemein gültige Prinzip, alle Zugkräfte durch Bewehrung aufzunehmen, aufgeben zu müssen. Die mögliche flachere Neigung der Druckstreben wurde von Kupfer nach dem Prinzip vom Minimum der Formänderungsarbeit bestätigt.

Leonhardt /36/ geht in seinem Fachwerkmodell (Bild 2.4) ebenfalls von flacher als  $45^\circ$  geneigten Druckstreben aus, nimmt aber zusätz-

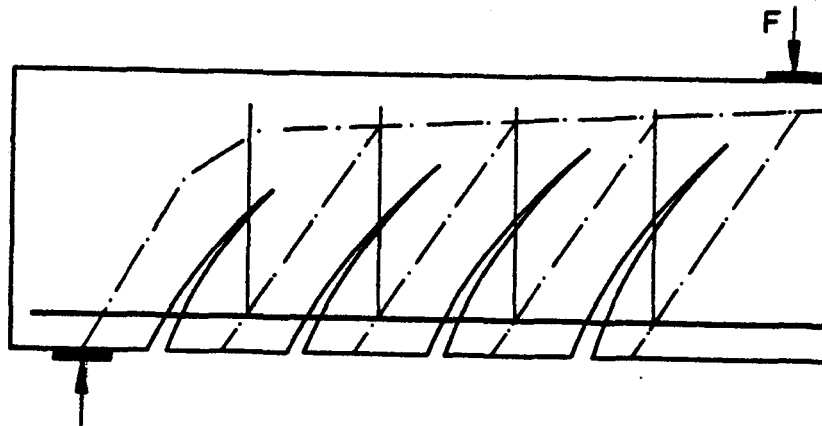


Bild 2.5: Erweiterte Fachwerkanalogie nach dem "Kammsystem"

lich noch eine variable Neigung des Druckgurtes gegenüber der Balkenachse an. Hierdurch ist der Obergurt in der Lage, einen Teil der Querkraft direkt zum Auflager hin abzuleiten. Die Anschlüsse zwischen Druckgurt und Druckstreben werden als biegesteif angenommen, so daß sich ein mehrfach statisch unbestimmtes Stabwerk ergibt. Da Leonhardt dieses Fachwerkmodell nur zur qualitativen Beschreibung des Schubtragverhaltens verwendet, macht er keine Angaben, wie die Neigung der Druckstreben und des Druckgurtes bestimmt werden soll.

Neuere Forschungsarbeiten von Moosecker /47/ und Mallée /44/, die auf das von Rüscher entwickelte "Kammsystem" aufbauen, ermitteln die Schubtragfähigkeit mit Hilfe eines hochgradig statisch unbestimmten Stabwerkes (Bild 2.5). Das Balkentragwerk wird im Zustand II durch einen Kamm mit schrägen Betonzähnen ersetzt, wobei die Betondruckzone den Kammrücken bildet. Alle Tragelemente des gedachten Kammsystems besitzen eine Eigenbiegesteifigkeit und sind auch biegesteif miteinander

verbunden. Die mit diesem Tragmodell ermittelten Beanspruchungen und Verformungen zeigen gute Übereinstimmung mit den im Versuch gemessenen Werten. Allerdings ist ein derartiges Tragmodell für eine Anwendung in der Praxis weniger geeignet, da der anfallende Rechenaufwand nur mit Hilfe eines umfangreichen Rechenprogrammes bewältigt werden kann.

#### Schubtragmodell nach Kani

Nach Kani /26,27/ kann das Schubtragverhalten im Zustand II mit Hilfe eines Systems von Druckbögen (Bild 2.6) beschrieben werden. Die Schubbewehrung hat die Aufgabe, die Auflagerkräfte der inneren Bögen aufzunehmen und an die äußeren Bögen weiterzuleiten. Für Bauteile mit großer Schubschlankheit scheint dieses Tragmodell nicht anwendbar zu sein, da aus rein geometrischen Überlegungen die Ausbildung der erforderlichen Anzahl von Druckbögen nicht möglich ist. Da Kani außerdem keine Angaben über die Geometrie seines Tragmodells macht, kann es nur als qualitative Aussage über das Schubtragverhalten von gedruckten Balkentragwerken angesehen werden.

#### Theorien auf Grundlage der Festigkeit der Druckzone

Eine Reihe von Forschern ermitteln die Schubtragfähigkeit aus der Tragfähigkeit der Biegedruckzone im Querkraftbereich unter kombinierter Beanspruchung aus Biegedruckkraft und Querkraft. Die maximal aufnehmbare Querkraft wird hierbei aus der Tragfähigkeit der Biegedruckzone  $Q_b$  und dem Anteil der Schubbewehrung  $Q_s$  gebildet. Stellvertretend für die

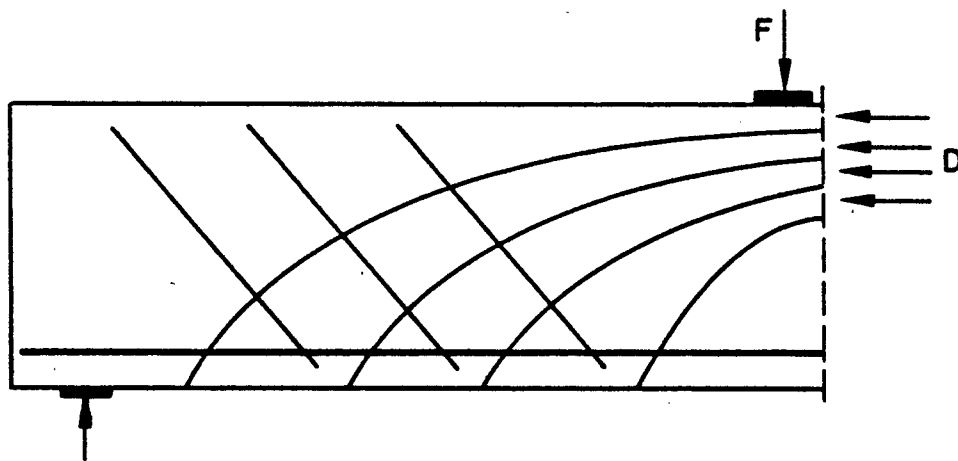


Bild 2.6: Schubtragmodell nach Kani

Theorie der Festigkeit der Druckzone im Querkraftbereich seien hier die Ansätze von Placas/Regan /53/ und Kamerling/Kuyt /25/ erwähnt. Placas/Regan ermitteln die Beanspruchung der Druckzone aus Gleichgewichtsbedingungen an einem Schnitt entlang eines geneigten Schubrisses (Bild 2.7). Mit Hilfe einer Bruchhypothese wird die Kombination von Schub und Normalspannung bestimmt, die zum Versagen der Biegedruckzone führt.

Kamerling/Kuyt bestimmen die Beanspruchung der Druckzone ebenfalls aus Gleichgewichtsbetrachtungen entlang eines geneigten Schubrisses, definieren aber als Bruchkriterium eine Grenzdehnung der Druckzone: Der Bruch tritt ein, wenn unter Annahme von eben bleibenden Querschnitten oberhalb des Schubrisses in der Druckzone eine Stauchung von 5 ‰ erreicht wird.



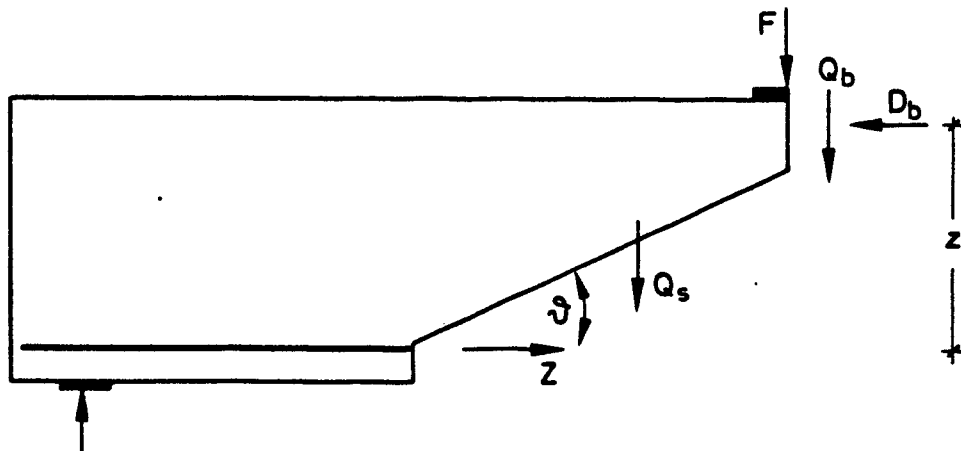


Bild 2.7: Kräfte an einem geneigten Schubriß

### Ansätze nach der Plastizitätstheorie

Die Ansätze nach der Plastizitätstheorie berechnen die Schubtragfähigkeit unter Annahme idealplastischen Werkstoffverhaltens von Beton und Stahl. Grob und Thürlimann /18/ gehen von einem Fachwerkmodell aus, dessen Druckstrebenneigung in den Grenzen von  $0,5 < \tan \vartheta < 2,0$  variiert.

Nach Nielsen/ Braestrup /49,50/ tritt das Schubversagen ein, wenn Stegbeton und Bügelbewehrung die Fließgrenze erreichen. Die Fließgrenze des Betons wird zu  $B_{by} = \nu \cdot B_p$  angenommen. Der Wert  $\nu$ , der aus Versuchen bestimmt wird, soll für Stahlbeton  $\nu = 0,72$  und für Spannbeton  $\nu = 0,76$  betragen.

### Berechnungen nach FE-Methode

In den letzten Jahren wurde in zunehmendem Maße auch die Methode der Finiten Elemente zur Untersuchung der Schubtragfähigkeit herangezogen. Bei dieser Berechnungsmethode

wird der Stahlbeton- bzw. Spannbetonbalken in einzelne Elemente unterteilt, wobei meist für den Beton und die Bewehrung verschiedene Elementtypen verwendet werden. Die Verbindung zwischen den Beton- und Bewehrungselementen erfolgt über sog. "Federelemente" oder "Kontaktelemente", die das Verbundverhalten zwischen Beton und Bewehrung simulieren.

Das zentrale Problem bei der Anwendung der FE-Methode auf Stahlbeton- und Spannbeton ist die Erfassung des gerissenen Zustandes. Die anfänglich entwickelten FE-Programme, die mit linear elastischen isotropen Werkstoffgesetzen arbeiteten, bieten nur die Möglichkeit, Rißbildungen durch Lösen der Verankerungen zwischen den Elementen nachzuvollziehen. Der Nachteil dieser Methode ist, daß die Risse nur entlang der Elementgrenzen verlaufen können. In neueren FE-Programmen werden die Risse meist "verschmiert" über die Elemente wiedergegeben, indem den Berechnungen nicht-lineare anisotrope Materialgesetze zugrunde gelegt werden. Da auch hier die Einarbeitung von wirklichkeitsnahen Materialgesetzen - insbesondere der Zusammenhang zwischen Schubsteifigkeit und Schubrißbildung - noch Schwierigkeiten bereitet, konnten bisher bei der Berechnung der Schubtragfähigkeit keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt werden.

### Empirische Lösungsansätze

In der Literatur sind eine Reihe von Lösungsansätzen zur Berechnung der Schubtragfähigkeit beschrieben, die auf empirisch gewonne-

nen Zusammenhängen beruhen. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen rein empirischen Gleichungen und solchen Ansätzen, denen ein mechanisches Tragmodell mit empirischen Korrekturgrößen zugrundeliegt.

Aus der Gruppe der rein empirischen Verfahren sind hier die Ansätze von Haddadin u. a. /20/ und Herzog /23/ aufgeführt. In diesen Ansätzen wird eine große Anzahl von Einflußgrößen mit unterschiedlicher Wertigkeit berücksichtigt. Derartige rein empirisch gewonnene Bemessungsansätze besitzen, sofern sie nicht durch ein mechanisches Tragmodell abgesichert werden, keine Allgemeingültigkeit, da sie meist nur aus einer begrenzten Anzahl von Versuchen abgeleitet sind.

Die halb-empirischen Ansätze bauen auf ein theoretisch begründetes Tragmodell auf, das mit Hilfe von empirisch gewonnenen Korrekturwerten erweitert und verbessert wird. Zum Teil lassen sich auch diese Korrekturwerte mit einem theoretischen Hintergrund versehen. Zu diesen Verfahren zählen die Ansätze von Leonhardt /36, 39/, Hedmann/Losberg /11,22/ und Mallée /44/. Alle drei Lösungsansätze besitzen den gleichen Aufbau: Die Schubtragfähigkeit setzt sich zusammen aus einem Fachwerkanteil und einem Betontraganteil. Mit dem theoretisch abgesicherten Fachwerkmodell wird die Tragwirkung der Schubbewehrung ermittelt und mit dem empirisch gewonnenen Betontraganteil werden die übrigen Tragwirkungen wie Rißverzahnung, Dübelwirkung der Längsbewehrung und Querkraftanteil der Biegedruckzone abgeschätzt.

## 2.5 Vergleich der Bemessungsansätze

Von den beschriebenen Tragmodellen sind zahlreiche Rechenansätze zur Bestimmung der Schubtragfähigkeit abgeleitet worden, die die verschiedenen Einflußgrößen in unterschiedlichster Form berücksichtigen. Im folgenden Abschnitt werden zunächst die wichtigsten Rechenansätze anhand einiger ausgewählter Beispiele miteinander verglichen. Anschließend werden die rechnerischen Schubbruchlasten nach diesen Rechenansätzen mit Versuchsdaten von 260 Stahlbetonbalken und 183 Spannbetonbalken überprüft. Die hierfür benötigten Gleichungen sind im Anhang A1 zusammengestellt. Für diese Gegenüberstellung sind nur solche Versuchsbalken aus der Literatur ausgewählt worden, die eindeutig auf Schub versagten, d.h. die Schubbruchlast war geringer als die Biegebruchlast. Die genauen Daten der ausgewählten Versuche sind im Anhang A2 zusammengestellt. Einen Überblick über die wesentlichen Einflußparameter gibt Tabelle 2.1, in der Kleinstwert, Größtwert und Mittelwert der Parameter aufgeführt sind.

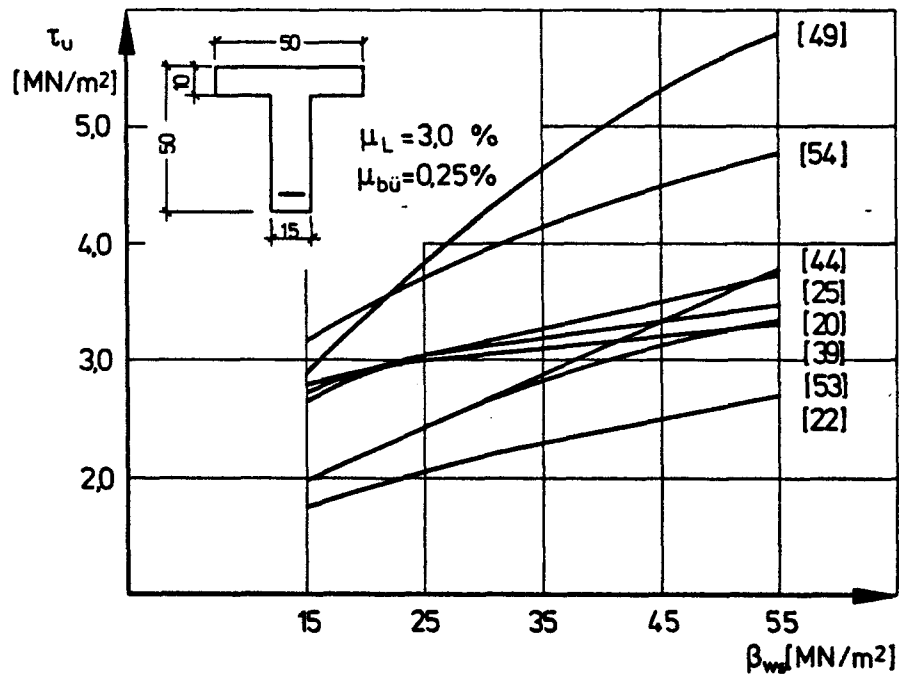
Um die Unterschiede zwischen den verschiedenen Rechenansätzen herauszustellen, sind in den Bildern 2.8 bis 2.10 am Beispiel eines Plattenbalkenquerschnitts die Bruchschubspannungen über die Parameter Betonfestigkeit  $\beta_{WS}$ , Bügelbewehrungsgrad  $\mu_{b\ddot{u}}$  und Vorspanngrad aufgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, daß der Einfluß der drei untersuchten Parameter sehr unterschiedlich berücksichtigt wird. Die Bruchschubspannungen unterscheiden sich zum Teil bis um das 2,5-fache. Jedoch ist festzustellen, daß die Parameter  $\beta_{WS}$  und  $\mu_{b\ddot{u}}$

Parameter der ausgewerteten 260 Stahlbetonbalken			Kleinstwert	GrößtWert	Mittelwert
Betongüte	$\beta_{ws}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	11	68	29
Schubbewehrungsgrad	$\mu_{b\ddot{u}} = \frac{A_{s,b\ddot{u}}}{a_{b\ddot{u}} \cdot b_o}$		0,05%	3,2%	0,58%
Längsbewehrungsgrad	$\mu_L = \frac{A_s \cdot A_z}{h \cdot b_o}$		0,6%	5,0%	2,9%
Stegbreite	$b_o$	[cm]	6	25	17
Bauteilhöhe	$d$	[cm]	26	55	39
Schubslankheit	$\lambda = a/h$		1,6	7,0	3,2

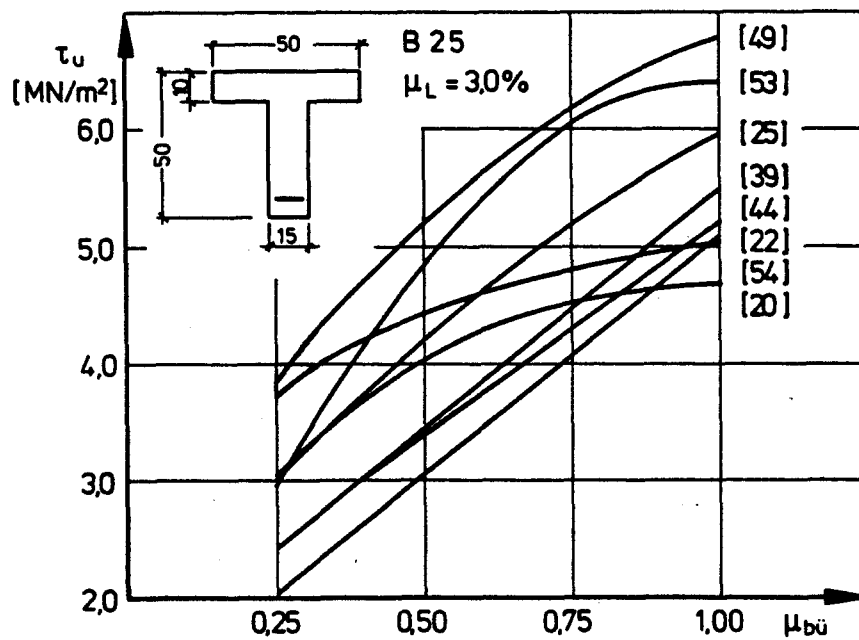
Parameter der ausgewerteten 183 Spannbetonbalken			Kleinstwert	GrößtWert	Mittelwert
Betongüte	$\beta_{ws}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	21	78	47
Schubbewehrungsgrad	$\mu_{b\ddot{u}} = \frac{A_{s,b\ddot{u}}}{a_{b\ddot{u}} \cdot b_o}$		0,04%	3,3%	0,80%
Längsbewehrungsgrad	$\mu_L = \frac{A_s \cdot A_z}{h \cdot b_o}$		0,7%	5,0%	3,2%
Stegbreite	$b_o$	[cm]	2,5	30	9
Bauteilhöhe	$d$	[cm]	25	97	43
Schubslankheit	$\lambda = a/h$		2,0	6,0	3,4
Vorspanngrad	$M_o / M_u$		0,0	0,76	0,29

Tabelle 2.1: Kleinstwert, GrößtWert und Mittelwert der Parameter der ausgewerteten Versuche

in nahezu allen Gleichungen in der Tendenz gleich bewertet werden. Mit steigender Betongüte wird von allen Rechenansätzen eine höhere Schubtragfähigkeit vorausgesagt (Bild 2.8). Die Zunahme der Bruchschubspannungen wird jedoch mit Ausnahme des Ansatzes nach Mallée /44/ mit steigender Betongüte geringer. Eine Erhöhung des Bügelbewehrungsgrades führt ebenfalls zu einer deutlichen Zunahme der Bruchschubspannungen (Bild 2.9). Für die Rechenansätze, die die Tragfähigkeit der Schubbewehrung aus einem Fachwerkmodell mit konstanter Druckstrebenneigung ermitteln /39,22,44/, ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen Bruchschubspannung und Bü-



**Bild 2.8:** Bruchschubspannungen in Abhängigkeit von der Betongüte  $\beta_{ws}$



**Bild 2.9:** Bruchschubspannungen in Abhängigkeit vom Bügelbewehrungsgrad  $\mu_{b\ddot{u}}$

gelbewehrungsgrad. Für die übrigen Rechenansätze ist der Verlauf der Bruchschubspannungen parabelförmig, wobei mit steigendem Bügelbewehrungsgrad der Anstieg der Bruchschubspannungen geringer wird.

Die im Vergleich zu Stahlbetonbalken höhere Schubtragfähigkeit von Spannbetonbalken berücksichtigen die einzelnen Verfahren durch Faktoren oder additive Zusatzglieder, die entweder vom Verhältnis des Dekompressionsmomentes  $M_0$  zum Biegebruchmoment  $M_u$  oder von der zentrischen Normalspannung infolge Vorspannung abhängen. Nach Bild 2.10 wächst die Bruchschubspannung mit Ausnahme des Ansatzes von Nielsen/Braestrup /49, 50/ linear bzw. annähernd linear mit dem Verhältnis  $M_0/M_u$  an. Nach Nielsen/Braestrup besitzen Spannbetonbalken gegenüber Stahlbetonbalken unabhängig von der Höhe der Vorspannung eine konstant höhere Schubtragfähigkeit, während die übrigen Verfahren den Übergang zwischen Stahlbeton und Spannbeton kontinuierlich definieren, so daß die Schubtragfähigkeit mit dem Vorspannungsgrad gleichmäßig zunimmt.

Im Gegensatz zu den hier beschriebenen Rechenansätzen wird von den augenblicklich gültigen Bemessungsvorschriften der Einfluß der Vorspannung nicht so eindeutig behandelt. Lediglich das Standard-Verfahren der CEB-Mustervorschrift, dem der Ansatz von Hedman/Losberg /22/ zugrundeliegt, bildet hier eine Ausnahme. DIN 4227/1, die bei der Schubbemessung nach Zone a und Zone b unterscheidet, berücksichtigt den günstigen Einfluß der Vorspannung nur in Zone a. Zone a liegt vor, wenn im für den Schubnachweis maß-

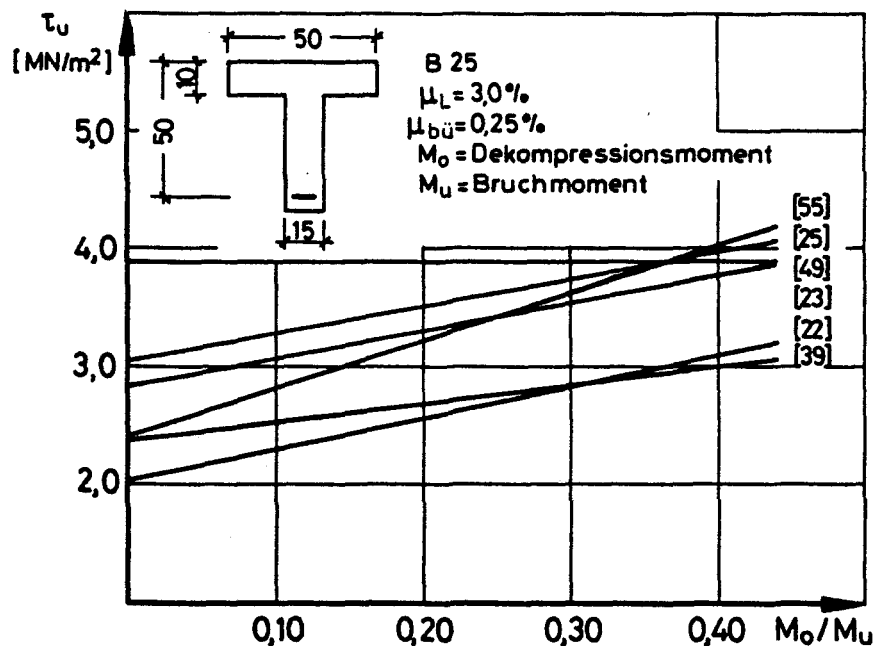


Bild 2.10: Bruchschubspannungen in Abhängigkeit von der Höhe der Vorspannung

gebenden Querschnitt unter rechnerischer Bruchlast die Spannungen am Biegezugrand unterhalb der Betonzugfestigkeit liegen. Folgt man dem in der Norm angegebenen Bemessungsvorschlag, auch in Zone a vereinfachend wie in Zone b zu rechnen, erfolgt die Ermittlung der Schubtragfähigkeit nach DIN 4227/1 in der Regel ohne Berücksichtigung der günstig wirkenden Vorspannung.

Im folgenden werden die beschriebenen Rechenansätze anhand von Versuchsergebnissen überprüft und miteinander verglichen. Hierzu wird der Quotient  $q$  aus der im Versuch gemessenen Querkraft im Bruchzustand  $Q_{u, \text{gem}}$  und der rechnerischen Bruchquerkraft  $Q_{u, \text{rechn}}$  gebildet, der im Falle exakter Übereinstimmung zu 1,0 wird. In den Tabellen 2.2 und 2.3 sind die Verhältnismerte  $q$  von 260 Stahlbetonbalken und 183 Spannbetonbalken stati-



stisch ausgewertet. Besondere Bedeutung ist den Variationskoeffizienten des Quotienten  $q$  beizumessen. Je kleiner der Variationskoeffizient von  $q$  ist, umso geringer ist die statistische Unsicherheit der einzelnen Verfahren bei der Berechnung der Schubtragfähigkeit.

Für die untersuchten Rechenansätze liegen die Mittelwerte des Quotienten  $q$  zwischen 0,84 und 1,68. Die großen Unterschiede zwischen den Mittelwerten des Quotienten  $q$  sind darauf zurückzuführen, daß der Entwicklung der hier zusammengestellten Gleichungen zwei unterschiedliche Zielsetzungen zugrundeliegen: Während die eine Gruppe der Ansätze versucht, die Schubtragfähigkeit so zu bestimmen, daß der Mittelwert von  $q$  genau 1,0 beträgt, versuchen die Ansätze der zweiten Gruppe, die Anforderungen eines normgerechten Bemessungsansatzes zu erfüllen, bei dem die 5 %- Fraktile des Quotienten  $q$  1,0 betragen soll.

Weiterhin sind in den Tabellen 2.2 und 2.3 die Ergebnisse einer linearen Regression in Form eines Balkendiagrammes angegeben. Mit Hilfe der ermittelten Regressionskoeffizienten soll überprüft werden, ob die verschiedenen Einflußparameter richtig erfaßt sind. Bei der hier gewählten Form der linearen Regression wurde eine ausgleichende Gerade durch die für den jeweils untersuchten Parameter aufgetragenen Verhältniswerte  $q$  gelegt. Der Regressionskoeffizient, der die Steigung dieser ausgleichenden Gerade angibt, ist dabei ein Maß für die Abhängigkeit des Quotienten  $q$  vom jeweils untersuchten Parameter. Verläuft die ausgleichende Gerade hori-

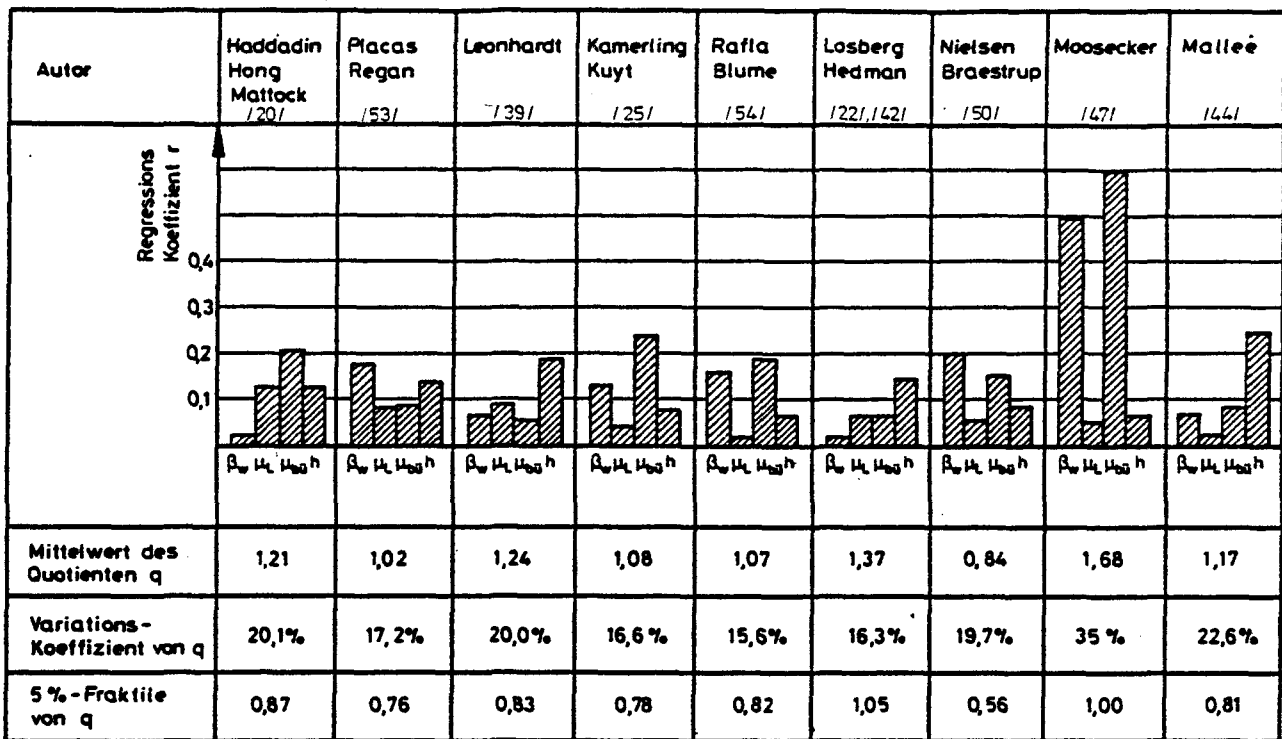


Tabelle 2.2: Vergleich der rechnerischen und im Versuch gemessenen Schubtragfähigkeit für Stahlbetonbalken

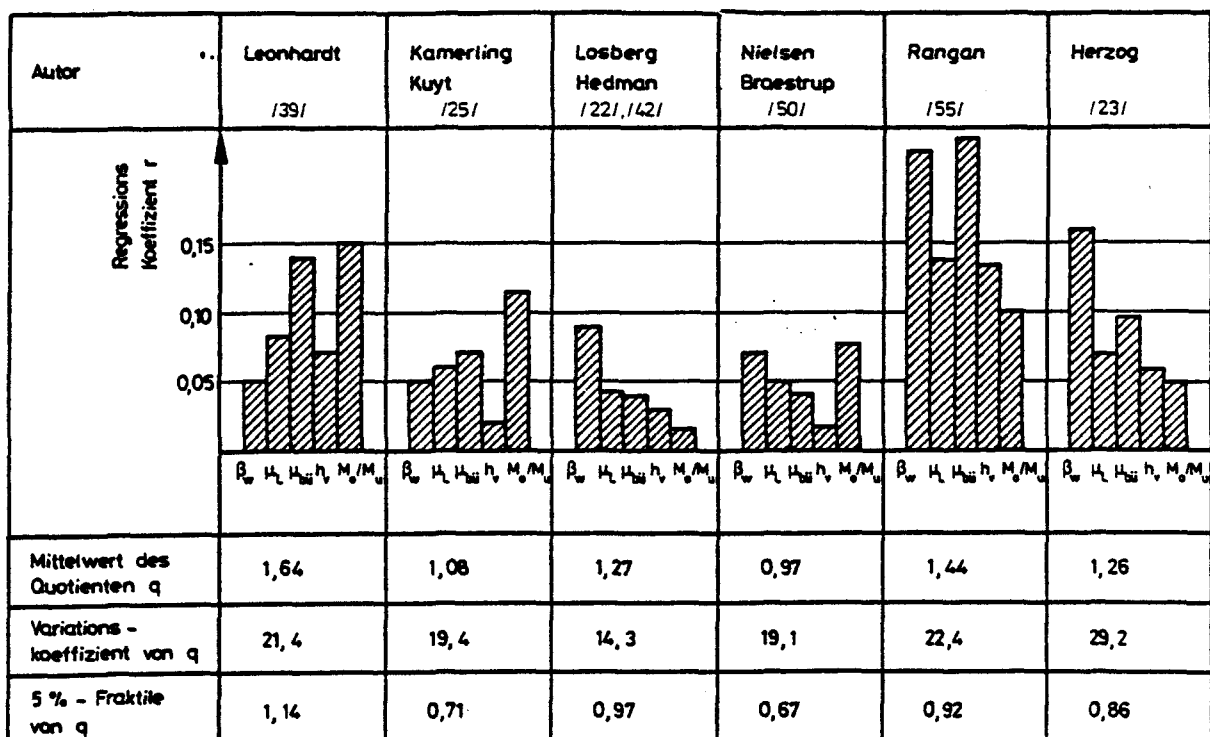


Tabelle 2.3: Vergleich der rechnerischen und im Versuch gemessenen Schubtragfähigkeit für Spannbetonbalken

zontal, beträgt der Regressionskoeffizient  $r = 0$ , d.h. der Parameter ist richtig erfaßt. Die Zusammenstellung der Regressionskoeffizienten in den Tabellen 2.2 und 2.3 zeigt deutlich, daß der Einfluß einzelner wichtiger Parameter bei nahezu allen Berechnungsansätzen nur ungenau erfaßt wird.

Zusammenfassend können aus dem direkten Vergleich der verschiedenen Rechenansätze und der Überprüfung anhand von Versuchsdaten folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

Die wesentlichen Einflußgrößen auf das Schubtragverhalten werden von fast allen Berechnungsansätzen in der Tendenz richtig beurteilt, jedoch wird meist die Wertigkeit der Einflußgrößen untereinander falsch eingeschätzt. Besonders die Ergebnisse der Regressionsanalyse zeigen, daß zwar eine Reihe von Verfahren in der Lage sind, die Schubbruchlast relativ sicher vorauszusagen, daß aber die einzelnen Einflußgrößen selbst nur unbefriedigend erfaßt werden.

Ziel der nachfolgenden Untersuchung ist es daher, einen Rechenansatz zu entwickeln, mit dem die wesentlichen Einflüsse auf das Schubtragverhalten in einfacher und übersichtlicher Form berücksichtigt werden. Die Entwicklung des Tragmodells, das die verschiedenen Schubtragwirkungen eines Balkentragwerkes wirklichkeitsnah beschreiben soll, erfolgt stufenweise, indem die im einzelnen gewonnenen Zusammenhänge unmittelbar mit Versuchsdaten belegt werden.

### 3 ENTWICKLUNG EINES TRAGMODELLS ZUR ERMITTLUNG DER SCHUBTRAGFÄHIGKEIT

#### 3.1 Gewählter Berechnungsansatz

Die Übersicht über die bis zum heutigen Zeitpunkt entwickelten Tragmodelle zeigt, daß es möglich ist, mit sehr unterschiedlichen Modellvorstellungen das Schubtragverhalten von Balkentragwerken zu beschreiben. Aus dieser Vielfalt von möglichen Tragmodellen erscheint den Verfassern ein Tragmodell, das auf der Fachwerkanalogie aufbaut, am besten geeignet, da mit Hilfe der Fachwerkanalogie der Kräfteverlauf in einem schubbeanspruchten Bauteil anschaulich dargestellt werden kann.

Wie in den vorangegangenen Abschnitten schon erläutert, setzt sich die Querkrafttragfähigkeit eines Balkentragwerkes aus mehreren Anteilen zusammen. Neben der Schubbewehrung, die bei üblichen Schubbewehrungsgraden den größten Anteil zur Gesamttragfähigkeit liefert, wirken die Rißverzahnung, die Dübelwirkung der Längsbewehrung, der ungerissene Druckgurt und die Vertikalkomponente geneigter Spannglieder bei der Querkraftabtragung mit (vgl. Bild 2.1). Es bietet sich daher an, einen Rechenansatz zu wählen, der die Schubtragfähigkeit durch Addition dieser Traganteile bestimmt. Rechenansätze, die nach dem "Additionsprinzip" arbeiten, sind schon von Leonhardt /36, 39/, Hedman/Losberg /22/ und Mallée /44/ aufgestellt worden. Die Vorschläge von Leonhardt und Hedman/Losberg bilden die Grundlage für das Standard-Verfahren in der CEB-Mustervorschrift /10/ von

1978.

Bei dem hier gewählten Rechenansatz setzt sich die Schubtragfähigkeit  $Q_u$  für die Brucharten Schubzugbruch und Biegeschubbruch aus 3 Anteilen zusammen: die Obergrenze der Schubtragfähigkeit ergibt sich aus der Druckstrebentragfähigkeit:

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_s + Q_b + Q_v \\ Q_u &\leq Q_D \end{aligned} \quad (3.1)$$

- $Q_s$  Querkraftanteil der Schubbewehrung
- $Q_b$  Betontraganteil
- $Q_v$  Querkraftanteil geneigter Spannglieder
- $Q_D$  Tragfähigkeit der Betondruckstreben

Der Querkraftanteil der Schubbewehrung  $Q_s$  wird mit Hilfe eines Fachwerkmodells, dessen Druckstrebenneigung  $45^\circ$  beträgt, bestimmt. Die neben diesem  $45^\circ$ -Fachwerk vorhandenen Tragwirkungen wie Rißverzahnung, Dübelwirkung, geneigter Biegedruckkraftverlauf sowie die durch flachere Neigung der Druckstreben höhere Tragfähigkeit der Schubbewehrung werden zu einem sogenannten "Betontraganteil"  $Q_b$  zusammengefaßt. Der Querkraftanteil geneigter Spannglieder kann direkt aus der Vertikalkomponente der Spanngliedkraft ermittelt werden. Die obere Grenze der Schubtragfähigkeit ergibt sich aus der Druckstrebentragfähigkeit  $Q_D$ , die durch Begrenzung der maximal aufnehmbaren Schubspannung bestimmt wird. Eine derartige obere Schubspannungsgrenze  $\max. \tau_u$  läßt sich auch nach klassischer Fachwerkanalogie aus der Hauptdruckspannung  $\sigma_2^{II}$  ableiten (vgl. Gl.n. 3.19 und 3.20).

Mit dem beschriebenen Rechenansatz kann sowohl die Schubtragfähigkeit von Stahlbetonbalken als auch von Spannbetonbalken berechnet werden. Für Stahlbetonbalken setzt sich die Schubtragfähigkeit nur aus dem Fachwerkanteil und dem Betontraganteil zusammen. Bei Spannbetonbalken erhöht sich die Schubtragfähigkeit einerseits um die normal zur Balkenlängsachse wirkende Komponente der Spanngliedkraft, sofern die Spannglieder geneigt sind, und andererseits vergrößert sich der Betontraganteil, da durch die Vorspannung sowohl die Tragfähigkeit infolge Rißverzahnung und Dübelwirkung als auch der Anteil des geneigten Druckgurtes erhöht werden.

Bei der Entwicklung des Rechenansatzes wird in den nachfolgenden Abschnitten im einzelnen folgendermaßen vorgegangen:

Zunächst werden die zur Berechnung des Querkraftanteils der Schubbewehrung  $Q_s$  benötigten Gleichungen nach der Fachwerkanalogie zusammengestellt. Anschließend werden die Einflußgrößen auf den Betontraganteil  $Q_b$  näher untersucht und schließlich wird anhand der ausgewerteten Versuchsdaten eine obere Schubspannungsgrenze zur Bestimmung der Druckstrebentragfähigkeit definiert.

### 3.2 Tragfähigkeit der Schubbewehrung

Der Querkraftanteil, der von der Schubbewehrung aufgenommen wird, läßt sich mit dem in Bild 3.1 dargestellten Fachwerkmodell bestimmen. Obwohl im hier gewählten Rechenansatz die Druckstrebenneigung  $45^\circ$  betragen soll, werden die nachfolgenden Gleichungen für beliebige Druckstrebenneigungen abgeleitet, um anhand dieser Zusammenhänge gleichzeitig auch die Wirkungsweise von Fachwerkmodellen mit variabler Druckstrebenneigung erläutern zu können. Nach Bild 3.1 betragen die Druckstrebenkraft  $D_s$  und die Zugdiagonale  $Z_s$  bei konstanter Querkraftbeanspruchung:

$$D_s = \frac{Q}{\sin \vartheta} \quad (3.2)$$

$$Z_s = \frac{Q}{\sin \alpha} \quad (3.3)$$

Die Hauptdruckspannungen  $\sigma_2^{II}$  in den Betondruckstreben ergeben sich aus der Druckstrebenkraft  $D_s$  geteilt durch die zugehörige Querschnittsfläche der Druckstrebe  $b_0 \cdot \bar{c}$  mit

$$\begin{aligned} \bar{c} &= c \cdot \sin \vartheta \\ \bar{c} &= 0,9h \cdot \sin \vartheta (\cot \vartheta + \cot \alpha) \end{aligned} \quad (3.4)$$

zu

$$\sigma_2^{II} = \frac{Q}{b_0 \cdot 0,9h \sin^2 \vartheta (\cot \vartheta + \cot \alpha)} \quad (3.5)$$

Die von der Schubbewehrung aufzunehmende Zugkraft beträgt je Längeneinheit des Trägers

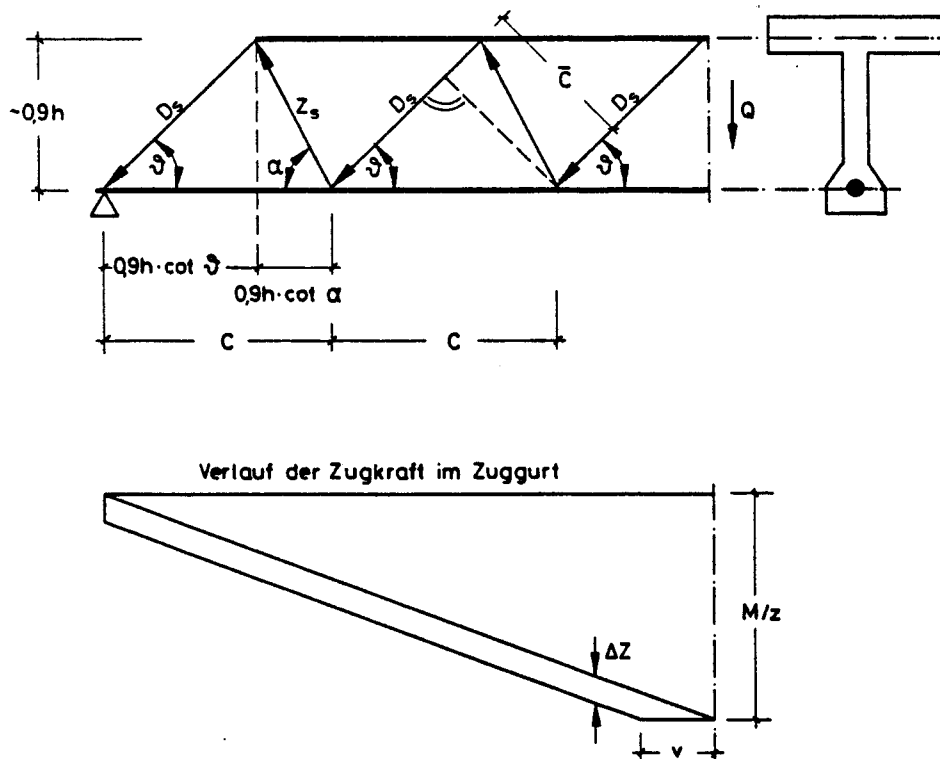


Bild 3.1: Fachwerkmodell

$$Z'_s = \frac{Z_s}{c} = \frac{Q}{c \cdot \sin \alpha} \quad (3.6)$$

$$Z'_s = \frac{Q}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{0.9h(\cot \vartheta + \cot \alpha)} \quad (3.7)$$

Setzt man für  $Z'_s$  das Produkt aus Schubbewehrung  $a_{s,s}$  pro Längeneinheit und Bruchspannung der Schubbewehrung ein, ergibt sich die Querkrafttragfähigkeit der Schubbewehrung zu:

$$Q_s = a_{s,s} \cdot \sigma_{s,u} \cdot 0.9h \sin \alpha (\cot \vartheta + \cot \alpha) \quad (3.8)$$

Durch die Gln. (3.5) und (3.8) wird verdeutlicht, daß sich bei flacherer Neigung der Druckstreben als  $45^\circ$  die Tragfähigkeit der Schubbewehrung vergrößert bei gleichzeitig höherer Beanspruchung der Betondruckstreben. Einige Bemessungsansätze der erweiterten Fachwerkanalogie /15,33/, die auf einen Be-



tontraganteil im Bemessungsansatz verzichten, benutzten diesen Umstand und versuchen, durch Variation der Druckstrebenneigungen die Querkraftanteile des geneigten Druckgurtes und die Anteile aus Rißverzahnung und Dübelwirkung der Längsbewehrung zu berücksichtigen.

Aus den Zug- und Druckdiagonalen des gedachten Fachwerks werden sogenannte Versatzkräfte  $\Delta Z$  in die Biegedruckzone und die Zugzone eingeleitet, die zur Bildung des Gleichgewichts an den Fachwerkknoten erforderlich sind. Diese Versatzkräfte  $\Delta Z$  führen zu einer Änderung der Druck- und Zuggurtkräfte, die sich aus der M/z-Linie ergeben: Die Beanspruchung der Biegedruckzone wird um die Kraft  $\Delta Z$  verringert, die Zuggurtkraft wird um  $\Delta Z$  erhöht. Die Wirkung dieser Versatzkräfte ist bei der Staffelung der Längsbewehrung in der Zugzone in Form des Versatzmaßes  $v$  zu berücksichtigen (vgl. Bild 3.1). Unter Annahme eines engmaschigen Netzfachwerkes beträgt die Versatzkraft

$$\Delta Z = \frac{Q}{2} (\cot \vartheta - \cot \alpha) \quad (3.9)$$

und das zugehörige Versatzmaß

$$v = \frac{0,9h}{2} (\cot \vartheta - \cot \alpha) \quad (3.10)$$

Da in dem hier gewählten Rechenansatz der von der Schubbewehrung aufnehmbare Querkraftanteil durch ein Fachwerk mit einer Druckstrebenneigung von  $\vartheta = 45^\circ$  berechnet wird, vereinfacht sich die Gl. (3.8) zu

$$Q_{s,s} = a_{s,s} \cdot \sigma_{s,s} \cdot 0,9h \cdot \sin \alpha (1 + \cot \alpha) \quad (3.11)$$

Setzt man den Schubbewehrungsgrad

$$\mu_{s,s} = \frac{a_{s,s}}{b_0} \quad (3.12)$$

ein, so ergibt sich die Tragfähigkeit der Schubbewehrung zu

$$Q_{s,s} = \mu_{s,s} \cdot b_0 \cdot 0,9h \sin \alpha (1 + \cot \alpha) \cdot \sigma_{s,s} \quad (3.13)$$

### 3.3 Einflußgrößen auf den Betontraganteil

Mit dem Betontraganteil des gewählten Rechenansatzes werden die Querkraftanteile aus Rißverzahnung, Dübelwirkung der Längsbewehrung, der Traganteil des geneigten Druckgurtes und die von einem 45°-Fachwerk abweichende Tragfähigkeit der Schubbewehrung zusammengefaßt. Die Größe der verschiedenen Tragwirkungen wird dabei durch eine Reihe von Parametern bestimmt. Da die einzelnen Parameter dabei meist mehrere der verschiedenen Querkrafttragwirkungen beeinflussen, wird in der nachfolgenden Untersuchung des Betontraganteils nicht nach den einzelnen Tragwirkungen unterteilt, sondern nach den verschiedenen Einflußparametern. Hierdurch wird vermieden, daß bei der Entwicklung eines Rechenansatzes für den Betontraganteil verschiedene Parameter mehrfach berücksichtigt werden müssen. Zur Beschreibung der Einflußgrößen auf den Betontraganteil wird folgender Produktansatz gewählt:

$$Q_b = f_b \cdot f_L \cdot f_h \cdot f_s \cdot f_F \cdot f_v \cdot \Delta\tau \cdot h \cdot b_0 \quad (3.14)$$

Hierin bedeuten:

$f_b$	Beiwert für die Betonfestigkeit
$f_L$	Beiwert für den Längsbewehrungsgrad
$f_h$	Beiwert für die Bauteilhöhe
$f_s$	Beiwert für den Schubbewehrungsgrad
$f_F$	Beiwert für die Querschnittsform
$f_v$	Beiwert für den Vorspanngrad
$\Delta\tau$	Korrekturwert des Betontraganteils

Die Formulierung der Zusammenhänge zur Beschreibung der Abhängigkeiten erfolgt in enger Anlehnung an ausgewählte Versuchsdaten von Stahlbeton- und Spannbetonbalken. Hierzu werden in den Bildern 3.2 und 3.14 die einzelnen Beiwerte zur Bestimmung des Betontraganteils über die zu untersuchenden Parameter aufgetragen, um den Zusammenhang zwischen Betontraganteil und Parameter zu belegen. Zur Verdeutlichung der einzelnen Abhängigkeiten werden jeweils die schon gewonnenen Teilabhängigkeiten von den übrigen Parametern mitberücksichtigt.

Für die Untersuchung der Einflußparameter werden Versuchsdaten von

- 183 Spannbetonbalken mit Schubbewehrung
- 194 Spannbetonbalken ohne Schubbewehrung
- und
- 260 Stahlbetonbalken mit Schubbewehrung

verwendet.

### 3.3.1 Betonfestigkeit (Beiwert $f_b$ )

Der Einfluß der Betonfestigkeit auf die Schubtragfähigkeit wird in nahezu allen bisher entwickelten Berechnungsmodellen in der Tendenz einheitlich bewertet. Eine höhere Betonfestigkeit vergrößert die Schubtragfähigkeit nicht nur gegenüber Druckstrebenversagen, sondern auch dann, wenn die Schubbewehrung für das Versagen maßgebend wird.

Die Betonfestigkeit beeinflusst die Schubtragfähigkeit auf mehrfache Weise. Da mit der Betondruckfestigkeit der E-Modul des Betons ansteigt, wird die Steifigkeit des ungerissenen Druckgurtes vergrößert, so daß der Querkraftanteil des geneigten Druckgurtes zunimmt. Die Steifigkeit der Druckstreben des Fachwerkes im Steg wird ebenfalls erhöht, was zu einer weiteren Entlastung der Schubbewehrung führt. Neben dem E-Modul hat auch die Betonzugfestigkeit einen nicht unbedeutenden Einfluß auf die Schubtragfähigkeit, da von ihr die Schubrißbildung abhängt, die das spätere Schubversagen einleitet. Eine hohe Betonzugfestigkeit verringert einerseits die Länge der gerissenen Zugzone, so daß eine Schubrißbildung ausgehend von Biegerissen vermindert wird, und verzögert andererseits die Bildung und Rißfortpflanzung von Schubrisen im Steg. Auch nach der Schubrißbildung können über die Schubrisse hinweg durch Rißverzahnung Querkräfte abgetragen werden, solange die Rißbreiten gering sind. Die Wirksamkeit der Rißverzahnung ist neben der Rißbreite in erster Linie von der Betonfestigkeit abhängig, da für die Kornverzahnung neben Form und Festigkeit der Zuschlagkörner

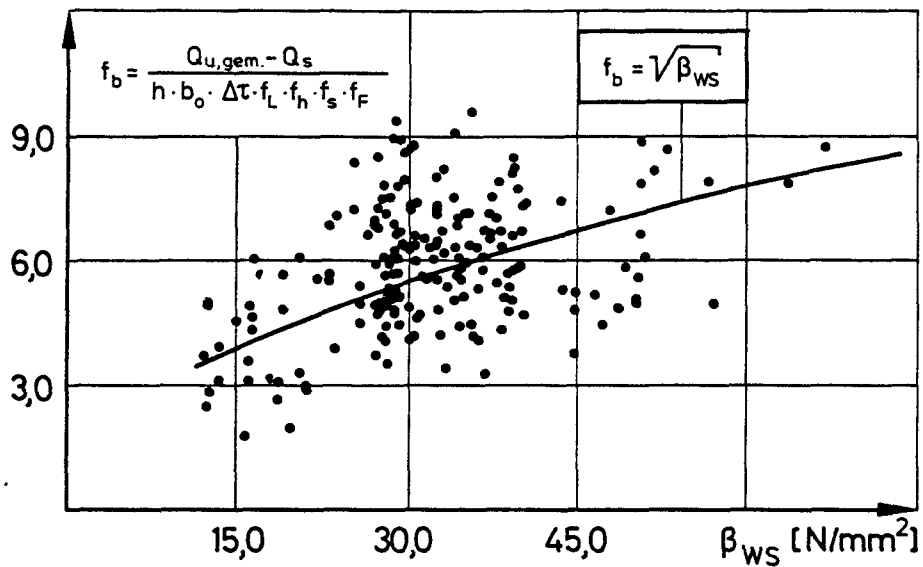


Bild 3.2: Einfluß der Betonfestigkeit auf den Betontraganteil bei Stahlbetonbalken

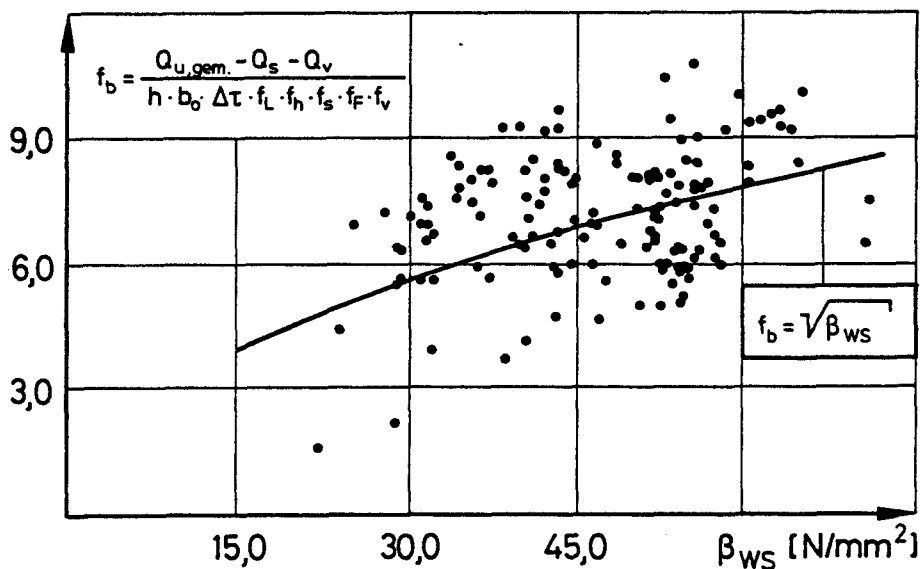


Bild 3.3: Einfluß der Betonfestigkeit auf den Betontraganteil bei Spannbetonbalken

die Festigkeit des Zementsteins maßgebend ist /66/.

Um einen Zusammenhang zwischen dem Betontraganteil und der Betonfestigkeit herzustellen, ist in den Bildern 3.2 und 3.3 getrennt für Versuche an Stahlbeton- und Spannbetonbalken

der Beiwert  $f_b$ , der den Einfluß der Betonfestigkeit erfassen soll, über die Druckfestigkeit  $\beta_{WS}$  aufgetragen. Die Würfeldruckfestigkeit wurde als Bezugsparameter gewählt, da sowohl die Betonzugfestigkeit als auch der E-Modul in Abhängigkeit der unter Kurzzeitbelastung gewonnenen Betondruckfestigkeit angegeben werden können. Nach der CEB-Mustervorschrift /10/ kann z.B. die Betonzugfestigkeit mit der Beziehung  $\beta_z = 0,3 \cdot \beta_p^{2/3}$  und der E-Modul mit  $E_B = 9,5 \cdot \beta_p^{1/3}$  aus der Prismendruckfestigkeit bestimmt werden. Die grundsätzliche Tendenz dieser Beziehungen ist auch in der Abhängigkeit zwischen Betontraganteil und Betonfestigkeit festzustellen. Die Zunahme des Beiwertes  $f_b$  mit steigender Betonfestigkeit kann nach den Bildern 3.2 und 3.3 sowohl für Stahlbeton- als auch für Spannbetonbalken ausreichend genau durch die Funktion

$$f_b = \sqrt{\beta_{WS}} \quad (3.15)$$

beschrieben werden.

Der anhand der Versuchsdaten gewonnene Zusammenhang nach Gl. (3.15) wird durch die Untersuchungen von Mallée /44/ und Rafla/Blume /54/ bestätigt. Mallée fand die Beziehung  $f_b = \beta_{WS}^{0,4}$  für schubbewehrte Stahlbetonbalken. Rafla/Blume bestimmten die Abhängigkeit zwischen Betontraganteil und Betonfestigkeit für Stahlbetonbalken ohne Schubbewehrung ebenfalls zu  $f_b = \sqrt{\beta_{WS}}$ .

### 3.3.2 Längsbewehrungsgrad (Beiwert $f_L$ )

Anhand der Versuchsdaten in den Bildern 3.4 und 3.5 ist deutlich zu erkennen, daß mit steigendem Längsbewehrungsgehalt der Betontraganteil zunimmt. Hierfür sind mehrere Gründe verantwortlich. Zunächst wird durch die Erhöhung des Längsbewehrungsgrades bei sonst gleichen Verhältnissen die Dehnsteifigkeit des Zuggurtes vergrößert. Die höhere Dehnsteifigkeit des Zuggurtes vermindert einerseits ein schnelles Öffnen der Schub- und Biegerisse - die Rißverzahnung bleibt wirksam - und bewirkt andererseits ein Absinken der Nulllinie, so daß der Querkraftanteil der Druckzone zunimmt. Da auch die schiefen Druckstreben des Fachwerkes im Steg infolge der höheren Zuggurtsteifigkeit stärker abgestützt werden, wird die Schubbewehrung weiter entlastet. Schließlich nimmt die über Dübelwirkung der Längsbewehrung - besonders bei zweilagiger Anordnung - aufgenommene Querkraft ebenfalls mit dem Längsbewehrungsgrad zu /4,39,56/.

Die Zunahme des Beiwertes  $f_L$  mit steigendem Längsbewehrungsgrad kann entsprechend den Bildern 3.4 und 3.5 mit dem Ansatz

$$f_L = \sqrt[3]{\mu_L} \quad (3.16)$$

beschrieben werden. Hierbei ist  $\mu_L$  der auf die Stegfläche  $A_{\text{Steg}} = b_0 \cdot h$  bezogene Bewehrungsgehalt aus  $(A_s + A_v)$  in Prozent. Der gewonnene Zusammenhang nach Gl. (3.16) zeigt auch gute Obereinstimmung mit den Untersuchungen von Mallée /44/ und Rafla/Blume /54/. Der Betontraganteil nimmt nach Mallée mit

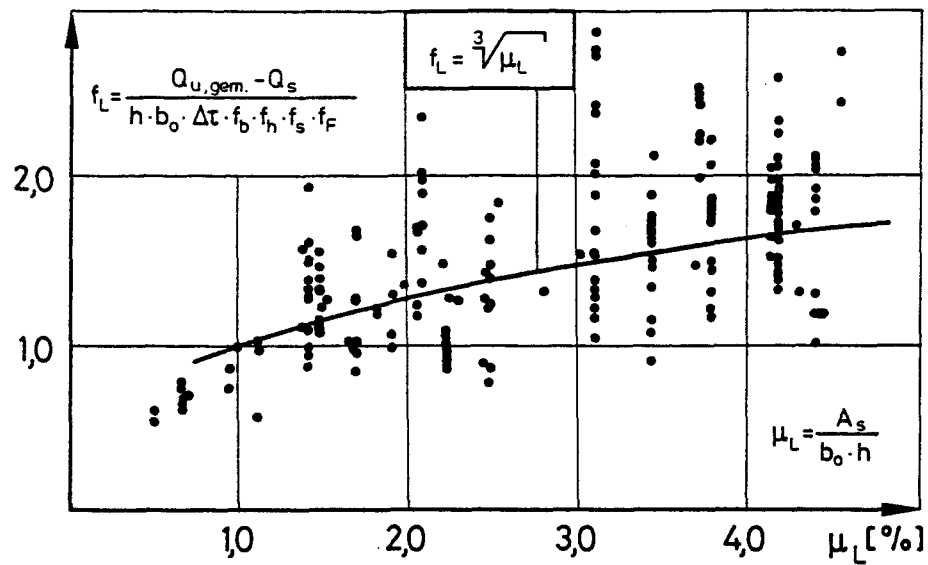


Bild 3.4: Einfluß der Längsbewehrung auf den Betontraganteil bei Stahlbetonbalken

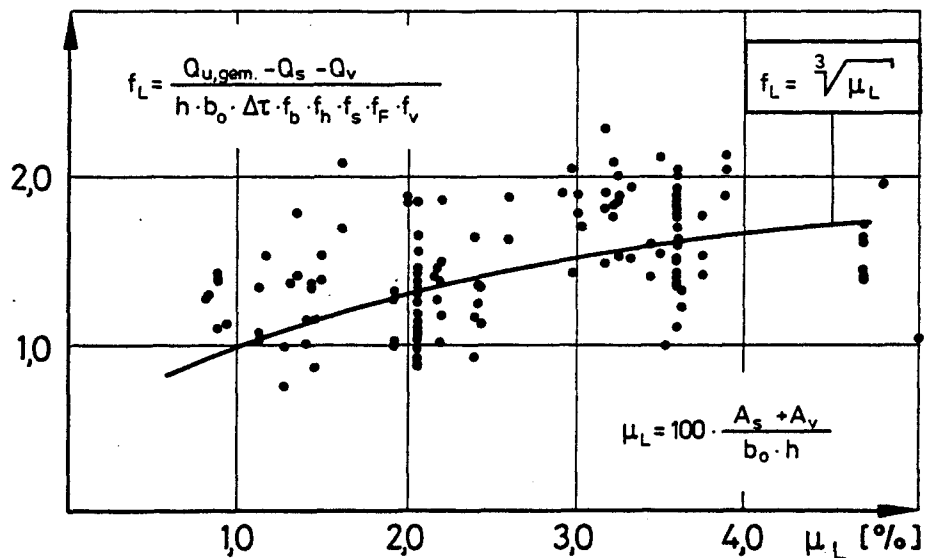


Bild 3.5: Einfluß der Längsbewehrung auf den Betontraganteil bei Spannbetonbalken

$f_L = \mu_L^{0,2}$  für schubbewehrte Stahlbetonbalken,  
nach Rafla/Blume mit  $f_L = \sqrt[3]{\mu_L}$  für Stahlbetonbalken ohne Schubbewehrung zu.

Die geringere Zunahme des Betontraganteils bei hohen Längsbewehrungsgraden ist auf die hier verminderte Verbundgüte zurückzuführen,



da im Vergleich zu geringeren Längsbewehrungsgraden meist dickere Bewehrungsstäbe verwendet werden. Bei gleichem Stahlquerschnitt ist die Verbundwirkung mehrerer dünner Stäbe besser als die von wenigen dicken Stäben. Hierdurch wird infolge des besseren Mitwirkens des Betons zwischen den Rissen die Dehnsteifigkeit des Zuggurtes gesteigert /39/.

Ein Einfluß der Stahlgüte der Längsbewehrung auf den Betontraganteil war erwartungsgemäß nicht festzustellen, da die Längsbewehrung beim Schubversagen die Streckgrenze in der Regel nicht erreicht.

Neben den bisher beschriebenen Einflüssen hat die Längsbewehrung die Aufgabe, die aus der Fachwerkwirkung entstehenden Versatzkräfte aufzunehmen. Die Versatzkräfte führen zu einer Verschiebung der M/z-Linie zum Auflager hin, was auch durch ausführliche Messungen an Versuchsbalken /40/ bestätigt werden konnte. Es ist daher bei der Staffelung der Längsbewehrung ein Versatzmaß zu berücksichtigen, um eine ausreichende Verankerung der Längsbewehrung zu sichern.

### 3.3.3 Bauteilhöhe (Beiwert $f_h$ )

Zahlreiche Untersuchungen /26,38,62,7,54/ an Balken ohne Schubbewehrung haben gezeigt, daß die Bruchschubspannungen mit zunehmender Bauteilhöhe abnehmen. Dieses Verhalten der Balken ohne Schubbewehrung erklärte Taylor /62/ mit Hilfe der Rißverzahnung. Da sich die Schubrißbreiten mit der Bauteilhöhe vergrößern,

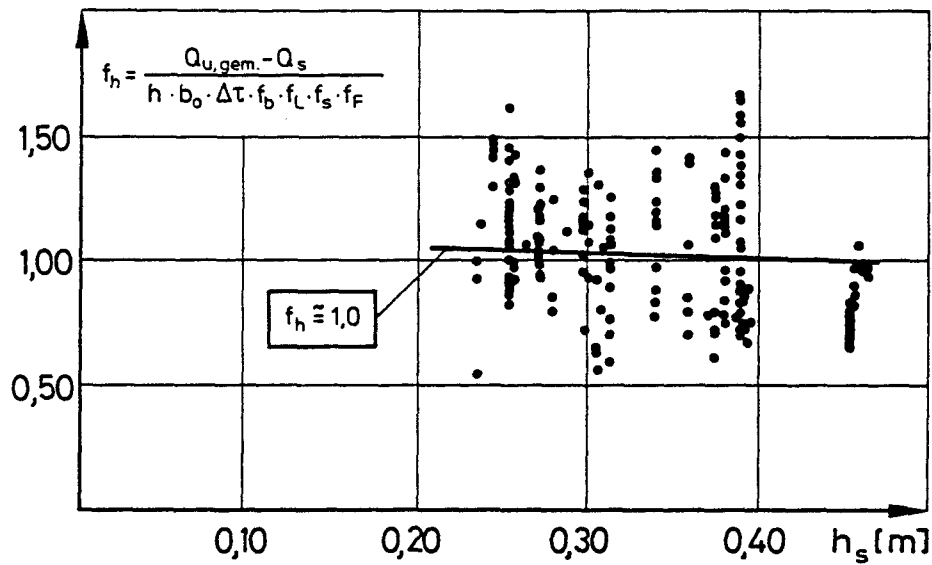


Bild 3.6: Einfluß der Bauteilhöhe auf den Betontraganteil bei Stahlbetonbalken

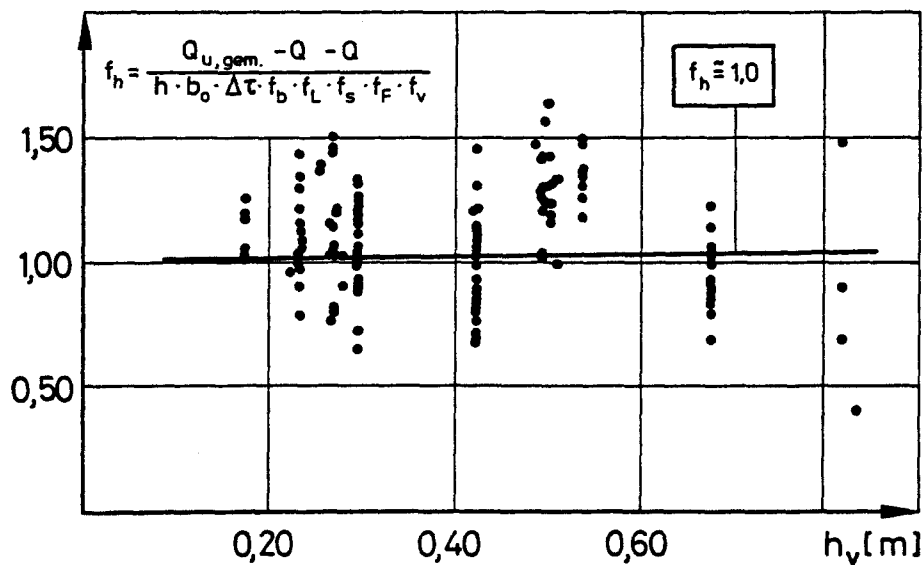


Bild 3.7: Einfluß der Bauteilhöhe auf den Betontraganteil bei Spannbetonbalken

Bern, wird bei gleicher Größe der Zuschlagkörner die Wirksamkeit der Kornverzahnung verringert. Nach Walraven /66/ ist neben dem Maßstab der Einfluß des Spannungsgradienten für die Abnahme der Bruchschubspannungen verantwortlich. Der flachere Spannungsgradient von Balken mit großer Bauhöhe bewirkt eine

verstärkte Rißbildung, die zu einem Schubbruch bei geringerer Schubspannung führt.

Bisher wurden nur wenige gezielte Untersuchungen zur Überprüfung des Höheneinflusses auf das Schubtragverhalten von schubbewehrten Balken ausgeführt. In den meisten Versuchsserien wurden neben der Bauteilhöhe auch andere Versuchsparameter variiert. In der einzigen systematischen, experimentellen Untersuchung stellte Bhal /7/ für schubbewehrte Balken mit zunehmender Bauhöhe nur eine geringfügige Abnahme der bezogenen Schubtragfähigkeit fest.

Nach der hier durchgeführten Auswertung von Versuchen an schubbewehrten Stahlbeton- und Spannbetonbalken ist der Einfluß der Bauteilhöhe auf das Schubtragverhalten vernachlässigbar gering. In den Bildern 3.6 und 3.7 ist der Beiwert  $f_h$  in Abhängigkeit der Balkennutzhöhe aufgetragen. Sowohl für die untersuchten Spannbeton- als auch Stahlbetonbalken, deren Nutzhöhen zwischen  $h \approx 23$  cm und  $h \approx 85$  cm variierten, ist kein Einfluß der Bauteilhöhe auf den Betontraganteil festzustellen. Ursache hierfür scheint zu sein, daß durch die Schubbewehrung die Entwicklung der Schubrißbreiten kontrolliert wird und somit die Wirkung der Rißverzahnung im Vergleich zu Balken ohne Schubbewehrung länger erhalten bleibt. Aufgrund dessen wird für schubbewehrte Balken im Ansatz für den Betontraganteil der Einfluß der Balkenhöhe nicht berücksichtigt ( $f_h = 1,0$ ).

### 3.3.4 Schubbewehrungsgrad (Beiwert $f_s$ )

In der Vergangenheit wurde in erster Linie der Wirkungsgrad der verschiedenen Arten der Schubbewehrung sowohl im Hinblick auf Tragfähigkeit als auch bei Ribbildung untersucht. Es zeigte sich deutlich, daß aufgebogene Stäbe neben größeren Ribbreiten und Ribabständen im Vergleich zu einer Bügelbewehrung auch eine geringere Tragfähigkeit ergeben. Unter  $45^\circ$  geneigte Bügel erzielen die kleinsten Ribbreiten; vertikale Bügel liegen in ihrer Wirksamkeit zwischen aufgebogenen Stäben und geneigten Bügeln. Die geringere Tragfähigkeit von aufgebogenen Stäben ist zum Teil darauf zurückzuführen, daß sich die Druckstreben gleichsam auf ein in Balkenlängsrichtung verlaufendes Schneidenlager abstützen müssen. Dagegen besitzt eine Bügelbewehrung bei gleicher Bewehrungsmenge einen wesentlich höheren Wirkungsgrad. Obwohl unter  $45^\circ$  geneigte Bügel im Versuch die geringsten Schubribbreiten und die höchsten Traglasten ergaben, werden heute in der Praxis aus wirtschaftlichen Gründen vorwiegend lotrechte Bügel eingesetzt. Dementsprechend wurden die vorliegenden Versuchsdaten ausgewählt: Die überwiegende Zahl der Versuchsbalken besitzt lotrechte Bügel; Balken, deren Schubbewehrung ausschließlich aus aufgebogenen Stäben besteht, wurden nicht berücksichtigt.

Im Vordergrund der hier durchgeführten Untersuchung steht der Einfluß des Schubbewehrungsgrades auf den Betontraganteil. Nach Mallée /44/ verhalten sich Schubbewehrungsgrad und Betontraganteil umgekehrt proportional. Die Abnahme des Betontraganteils bei

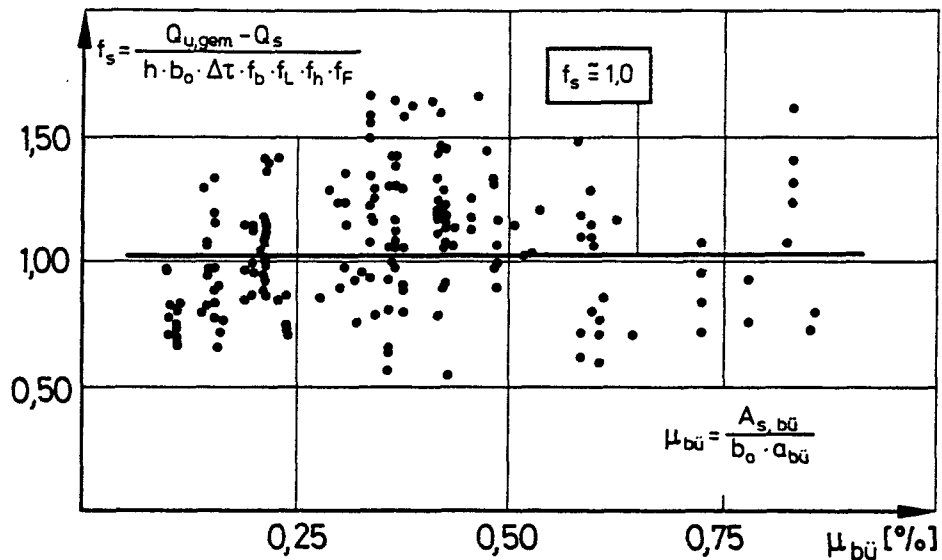


Bild 3.8: Einfluß des Schubbewehrungsgrades auf den Betontraganteil bei Stahlbetonbalken

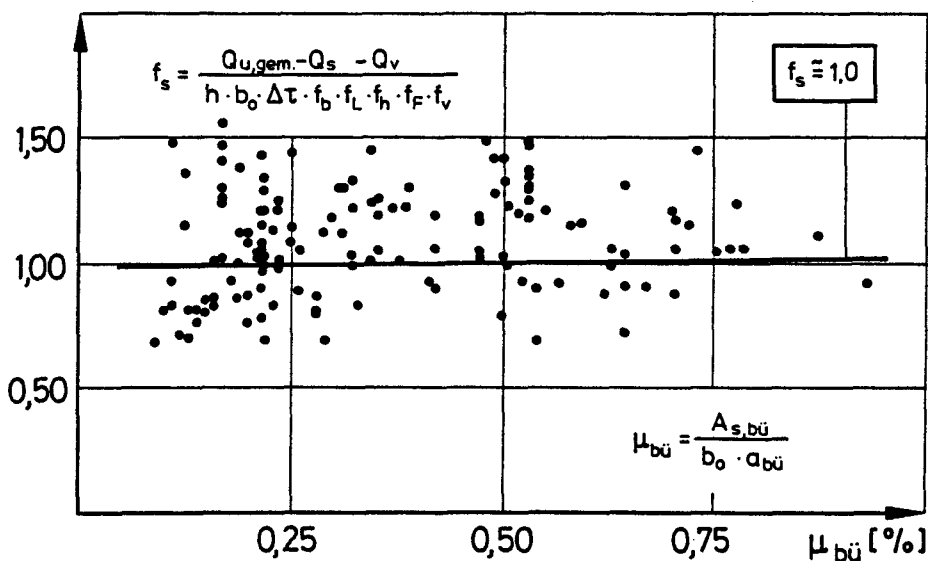


Bild 3.9: Einfluß des Schubbewehrungsgrades auf den Betontraganteil bei Spannbetonbalken

hohen Schubbewehrungsgraden führt Mallée darauf zurück, daß sich bei geringer Schubbewehrung flachere Druckstreben einstellen, die eine Entlastung der Schubbewehrung bewirken. Ein derartiger Einfluß konnte hier bei der Auswertung der Versuchsdaten nicht festgestellt werden. Nach den Bildern 3.8 und 3.9,

in denen der Beiwert  $f_s$  über den Schubbewehrungsgrad aufgetragen ist, besteht weder für Spannbeton- noch für Stahlbetonbalken eine eindeutige Abhängigkeit des Betontraganteil vom Schubbewehrungsgrad ( $f_s = 1,0$ ).

### 3.3.5 Querschnittsform (Beiwert $f_F$ )

Schon die Versuche von Leonhardt/ Walter /38, 41/ brachten die Erkenntnis, daß die Schubtragfähigkeit von der Stegdicke  $b_0$  deutlich beeinflußt wird. Aufgrund dieser Versuchsserien, bei denen nur die Stegdicke  $b_0$  variiert wurde, haben Leonhardt /36/ und später auch andere /22,54,56/ die Größe des Betontraganteils in Abhängigkeit von der Stegfläche  $A_{\text{Steg}} = b_0 \cdot h$  bestimmt. Neuere Untersuchungen /39,44,53/ zeigten jedoch, daß mit diesem Ansatz besonders der Betontraganteil von schlanken Plattenbalkenquerschnitten unterschätzt wird. Der größere Betontraganteil im Vergleich zu Rechteckbalken ist darauf zurückzuführen, daß die Querschnittsfläche des Plattenbalkendruckgurtes im Verhältnis zur Stegfläche größer ist. Zwar ergibt sich bei einem Plattenbalken, bedingt durch die höhere Nulllinienlage, eine geringere Druckgurthöhe, jedoch ist der Druckgurt im Vergleich zum Rechteckquerschnitt wesentlich breiter.

Um den Einfluß des Verhältnisses Plattenbreite zu Stegdicke auf den Betontraganteil zu überprüfen, ist in den Bildern 3.10 und 3.11 der Beiwert  $f_F$  über den Parameter  $b/b_0$  aufgetragen. Es ist zu erkennen, daß Plattenbalken ( $b/b_0 > 2,0$ ) gegenüber Rechteckbalken ( $b/b_0 = 1,0$ ) einen größeren Betontraganteil

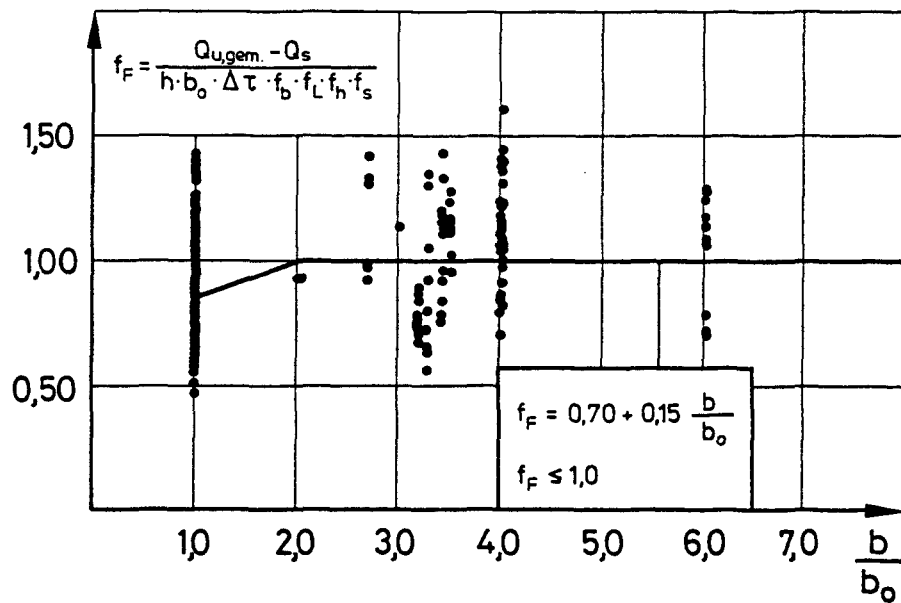


Bild 3.10: Einfluß der Querschnittsform auf den Betontraganteil bei Stahlbetonbalken

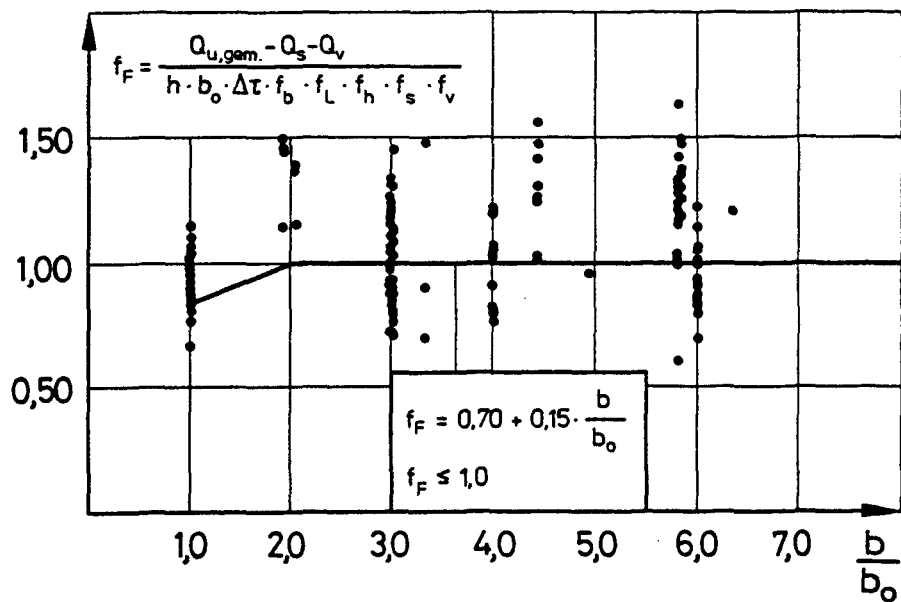


Bild 3.11: Einfluß der Querschnittsform auf den Betontraganteil bei Spannbetonbalken

besitzen. Zur Beschreibung des Parameters Querschnittsform wird der in den Bildern 3.10 und 3.11 dargestellte bilineare Ansatz gewählt, da für Plattenbalken mit  $b/b_o > 2,0$  keine weitere Zunahme des Betontraganteils festzustellen ist. Der Betontraganteil eines Rechteckquerschnitts beträgt 85 % von dem ei-

nes Plattenbalkens mit  $b/b_0 > 2,0$ . Zwischenwerte können gradlinig interpoliert werden.

Der hier gewählte Ansatz zur Beschreibung des Einflusses der Querschnittsform auf den Betontraganteil bei Stahlbeton- und Spannbetonbalken entspricht dem Vorschlag von Mallée /44/.

### 3.3.6 Einfluß der Vorspannung (Beiwert $f_v$ )

Zahlreiche Schubversuche an Spannbetonträgern /40,64,6,43, 2,17,24/ haben gezeigt, daß mit zunehmendem Vorspanngrad die Stegzugkräfte verringert werden, so daß in Spannbetonbalken weniger Schubbewehrung erforderlich ist als in Stahlbetonbalken. Der grundsätzliche Einfluß der Vorspannung kann gut anhand der Schubversuche von Thürlimann u.a. /64/ erläutert werden. In dieser Versuchsserie wurde der Vorspanngrad unter Beibehaltung der übrigen Versuchsparameter zwischen 0 % und 100 % variiert. Die Spannbewehrung  $A_v$  und die schlaffe Längsbewehrung  $A_s$  waren so gewählt, daß alle Versuchsbalken die gleiche Biegetragfähigkeit besaßen. Nach Bild 3.12, in dem die gemessenen Bügelkräfte in Abhängigkeit der einwirkenden Querkraft aufgetragen sind, ist mit zunehmenden Vorspanngrad bei gleicher äußerer Belastung eindeutig eine Abnahme der Bügelkräfte festzustellen. Hierfür gibt es mehrere Gründe: Zunächst können sich von Biegerissen ausgehende Schubrisse in der Regel nicht bilden, da der Zuggurt aufgrund der Vorspannung meist ungerissen bleibt. Da auch die auftretenden Hauptzugspannungen im Steg infolge Vorspannung gerin-



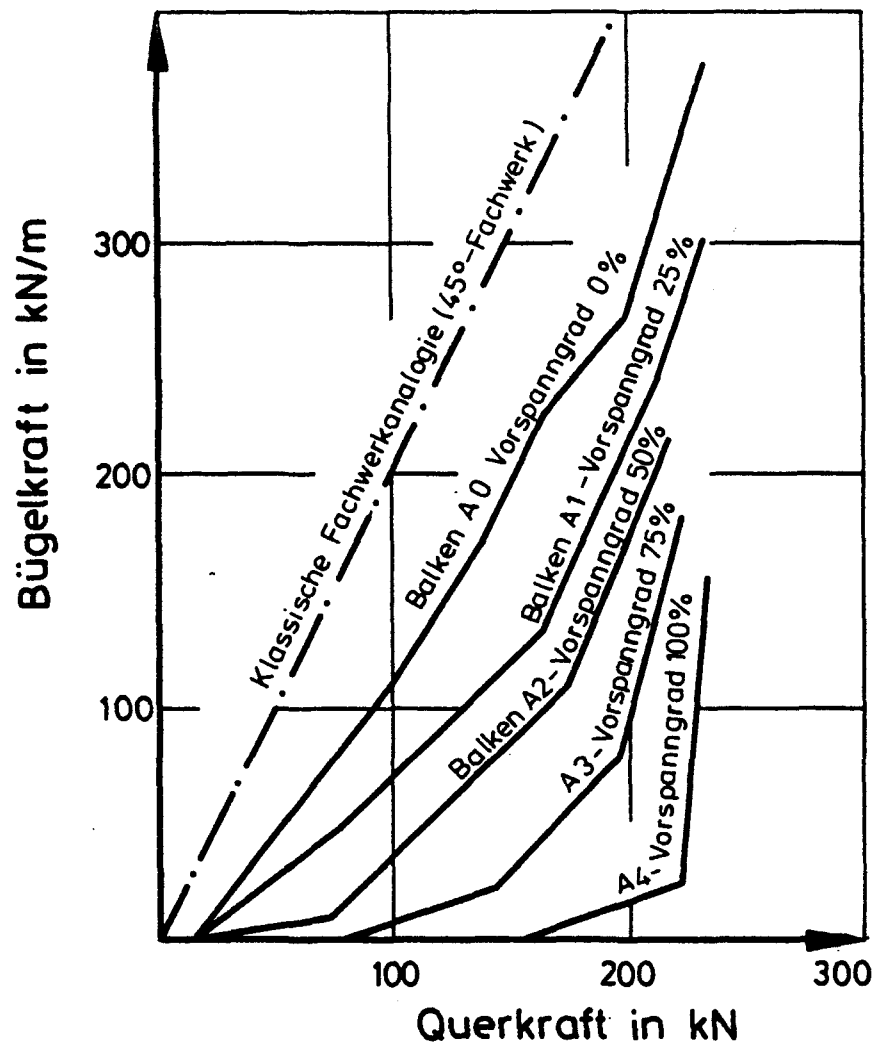


Bild 3.12: Einfluß des Vorspanngrades auf die Bügelkräfte nach /64/

ger sind, erfolgt eine Schubrißbildung mit zunehmendem Vorspanngrad bei höherer Belastung. Weiterhin bewirkt ein hoher Vorspanngrad flacher geneigte Schubrisse, die zu einer geringeren Neigung der Druckstreben im Steg und infolgedessen zu einer weiteren Entlastung der Schubbewehrung führen.

Versuche von Leonhardt/Koch/Rostásy /40/, bei denen die Bügelspannungen entlang der Balkenachse gemessen wurden, zeigen, daß der Einfluß der Vorspannung auf das Schubtragverhalten sowohl im auflagnernahen Bereich mit unge-

rissener Zugzone (Zone a) als auch in Bereichen mit gerissener Zugzone (Zone b) wirksam ist. In Zone b waren die gemessenen Bügelspannungen gegenüber Zone a nur wenig größer. Die auch in Zone b im Vergleich zu Stahlbetonbalken geringeren Bügelspannungen sind darauf zurückzuführen, daß aufgrund der Vorspannung einerseits die Schubrißbreiten begrenzt werden und andererseits die Biegezugzone weniger weit aufreißt. Hierdurch besitzen sowohl der Steg als auch die Biegedruckzone eine höhere Steifigkeit, so daß im Vergleich zu entsprechenden Stahlbetonbalken der Betontraganteil größer ist.

Zur Erfassung dieser Einflüsse wurden schon eine Reihe von Rechenansätzen entwickelt. Leonhardt /36,39,40/ definierte auf Grund der Gegenüberstellung der im Versuch gemessenen und der rechnerischen Bügelkräfte nach der klassischen Fachwerkanalogie einen sogenannten Betonabzugswert, der den Einfluß des Vorspanngrades erfaßt. Er bestimmte diesen Betonabzugswert aus dem Biegerißmoment des für die Querkraftbemessung maßgebenden Querschnittes.

Nach einem Vorschlag von Hedman/Losberg /22/ erhöht sich die Schubtragfähigkeit von Spannbetonbalken gegenüber Stahlbetonbalken um den Faktor  $(1 + M_0/M_u)$ . Sowohl der Querkraftanteil der Schubbewehrung als auch der Betontraganteil werden um diesen Faktor erhöht. Hierbei sind für  $M_0$  das Dekompressionsmoment und für  $M_u$  das im Bemessungsquerschnitt aufzunehmende Bruchmoment anzusetzen. Der Vorschlag von Hedman/Losberg wurde später dem Standard-Verfahren der CEB-Mustervorschrift

/10/ zugrundegelegt. Allerdings wird nach CEB im Gegensatz zu Hedman/Losberg nur der Betontraganteil mit dem Faktor  $(1 + M_o/M_u)$  erhöht, wodurch der Einfluß der Vorspannung unterschätzt wird /39/.

Herzog /23/ bestimmt die Schubtragfähigkeit von Spannbetonbalken, indem er seinen empirischen Rechenansatz für Stahlbetonbalken um den Faktor  $(1 + \sigma_N/\beta_p)$  erweitert. Die rechnerische Schubtraglast steigt mit dem Verhältnis zentrische Vorspannung  $\sigma_N = N_V/A_b$  zur Prismendruckfestigkeit linear an.

Nach DIN 4227/1 wird der Einfluß der Vorspannung nur in Zone a berücksichtigt, in der auch im Bruchzustand der Zuggurt ungerissen bleibt. Hier darf bei der Bestimmung der erforderlichen Schubbewehrung die Neigung der Druckstreben flacher angesetzt werden, während in Zone b die Schubbemessung unabhängig von der Höhe der Vorspannung erfolgt.

Um den Einfluß der Vorspannung auf das Schubtragverhalten zu verdeutlichen, ist in den Bildern 3.13 und 3.14 der Beiwert  $f_v$ , der den Einfluß des Vorspanngrades wiedergeben soll, über dem Verhältniswert  $M_o/M_u$  aufgetragen. Diese Form der Darstellung setzt voraus, daß die Wirkung der Vorspannung auf das Schubtragverhalten über den Betontraganteil erfaßt wird. Aus den Bildern 3.13 und 3.14 ist deutlich zu erkennen, daß der Betontraganteil mit dem Verhältnis  $M_o/M_u$  zunimmt. Der Zusammenhang zwischen Betontraganteil und Höhe der Vorspannung läßt sich für Spannbetonbalken sowohl mit als auch ohne Schubbewehrung durch den Ansatz

$$f_v = 1,25 M_o / M_u \quad (3.17)$$

beschreiben.

Im Vergleich zur CEB-Mustervorschrift wird mit dem hier gewählten Rechenansatz für den Betontraganteil der Einfluß der Vorspannung höher bewertet, auch wenn die unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerte für  $M_u$  in Gl. (3.17) und in der CEB-Mustervorschrift berücksichtigt werden. Nach CEB, die mit Teilsicherheitsbeiwerten arbeitet, beträgt  $M_u = 1,35 M_g + 1,50 M_p$ , während in Gl. (3.17)  $M_u = 1,75 (M_g + M_p)$  angesetzt wurde. Eine höhere Bewertung der Vorspannung kommt auch dadurch zustande, daß hier im Gegensatz zur CEB der Einfluß der Vorspannung zusätzlich zu Gl. (3.17) noch durch den Parameter  $\mu_L$  (vgl. Gl.3.16) im Beiwert  $f_L$  berücksichtigt wird.

Im Vergleich zu Hedman/Losberg, die sowohl den Betontraganteil als auch den Anteil der Schubbewehrung mit dem Faktor  $(1 + M_o/M_u)$  erhöhen, ist nach Gl. (3.17) der Einfluß der Vorspannung geringer. Dieser Unterschied ist darauf zurückzuführen, daß Hedman/Losberg ihren Ansatz in erster Linie aus Versuchsdaten von Spannbetonbalken ohne Schubbewehrung abgeleitet haben.

Die Lösungsmöglichkeit, den Betontraganteil entsprechend Herzog /23/ an die Größe  $\sigma_N/\beta_p$  zu koppeln, wurde von den Verfassern ebenfalls untersucht. Dieser Ansatz erwies sich jedoch gegenüber Gl. (3.17) als weniger geeignet, da keine eindeutige Abhängigkeit festzustellen war. Zudem ist die Form des

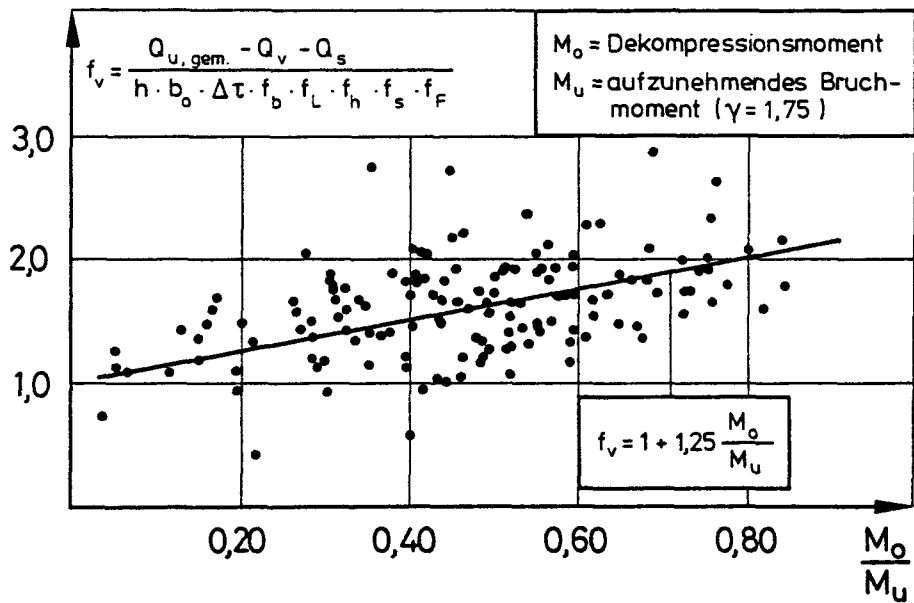


Bild 3.13: Einfluß der Vorspannung auf den Betontraganteil bei Balken mit Schubbewehrung

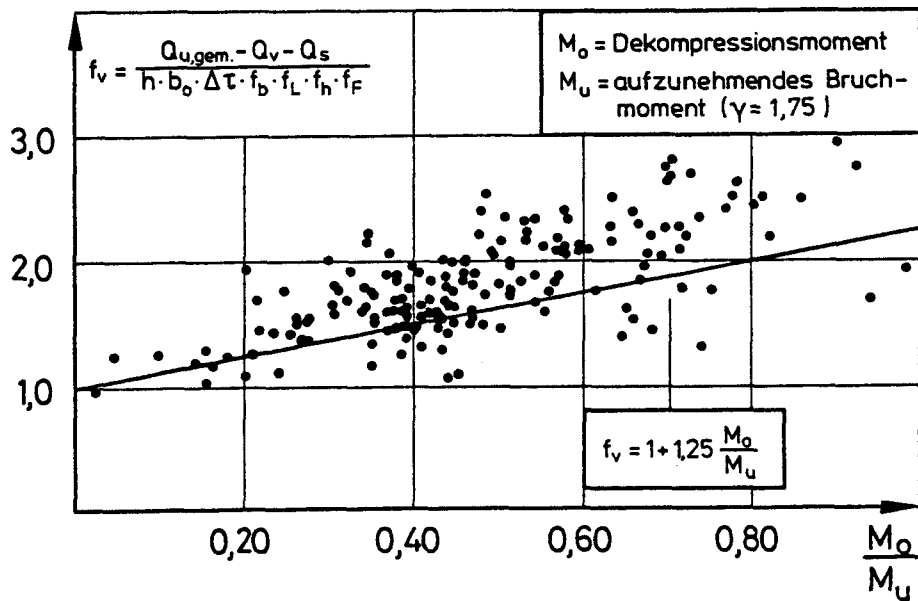


Bild 3.14: Einfluß der Vorspannung auf den Betontraganteil bei Balken ohne Schubbewehrung

zes nach Gl. (3.17) schon allgemein in der Literatur anerkannt /10,36,39/.

### 3.4 Querkraftanteil geneigter Spannglieder

Die Wirkung von geneigten Spanngliedern kann aufgrund der Untersuchungen von Leonhardt/Koch/Rostásy /40/ und Bachmann /3/ mit der Formel

$$Q_v = N_v \cdot \sin \alpha \quad (3.18)$$

erfaßt werden. Der Querkraftanteil des geneigten Spanngliedes entspricht der Vertikal-komponente der Spanngliedkraft. Die Versuche von Bachmann u.a. /3/ haben gezeigt, daß Gl. (3.18), die sich nach den Regeln der Festigkeitslehre für einen homogenen ungerissenen Querschnitt ableiten läßt, auch im Zustand II ihre Gültigkeit besitzt. Voraussetzung hierfür ist jedoch, daß an End- und Zwischenauflagern eine untere schlaffe Längsbewehrung durchgeführt wird, die mindestens für eine Zugkraft  $Z_A = Q/2$  zu bemessen ist. Eine derartige Bewehrung sorgt für eine Mitwirkung des gesamten Querschnitts, also auch der unterhalb der geneigten Spannglieder liegenden Querschnittsteile, bei der Querkraftabtragung in Auflagernähe. Zur Ermittlung der Bruchschubspannungen kann dann die Nutzhöhe der schlaffen Längsbewehrung eingesetzt werden.

Für  $N_v$  ist die Vorspannkraft im Gebrauchszustand anzusetzen, da Versuche /3,40/ gezeigt haben, daß der Spannungszuwachs der Spannglieder im Querkraftbereich nur gering ist und daher vernachlässigt werden sollte.

### 3.5 Druckstrebentragfähigkeit

Die Schubtragfähigkeit wird bei sehr hohen Schubbewehrungsgraden durch die Druckfestigkeit des Betons begrenzt. Die Betonspannungen der Druckstreben sind von der Neigung der Druckstreben und der Schubbewehrung abhängig. Setzt man entsprechend der klassischen Fachwerkanalogie unter  $45^0$  geneigte Druckstreben an, so lassen sich zwischen Druckstrebenspannungen (vgl. Gl. 3.5) und dem Rechenwert der Schubspannungen  $\tau_0$  folgende Beziehungen herstellen:

für lotrechte Schubbewehrung

$$\sigma_2^{\parallel} = 2 \frac{Q}{0,9 h b_0} = 2 \tau_0 \quad (3.19)$$

für  $45^0$ -geneigte Schubbewehrung

$$\sigma_2^{\parallel} = \frac{Q}{0,9 h b_0} = \tau_0 \quad (3.20)$$

Auf Grund dieser Beziehungen kann die Druckstrebentragfähigkeit durch Festlegen einer oberen Schubspannungsgrenze, die von der Betonfestigkeit abhängt, bestimmt werden. Diese Form des Nachweises der Druckstrebentragfähigkeit ist heute in den meisten Bemessungsvorschriften /10,14,15/ üblich. Bei der Berechnung der Druckstrebentragfähigkeit kann im Vergleich zum Biegebruchsicherheitsnachweis nur eine verminderte Betondruckfestigkeit angesetzt werden. Die geringere Druckfestigkeit der Druckstreben ist einerseits auf die unregelmäßige Begrenzung der Druckstreben durch die Schubrisse und andererseits auf die durch die Schubbewehrung eingeleitete Querkzugbeanspruchung der Druckstreben zurück-

zuführen.

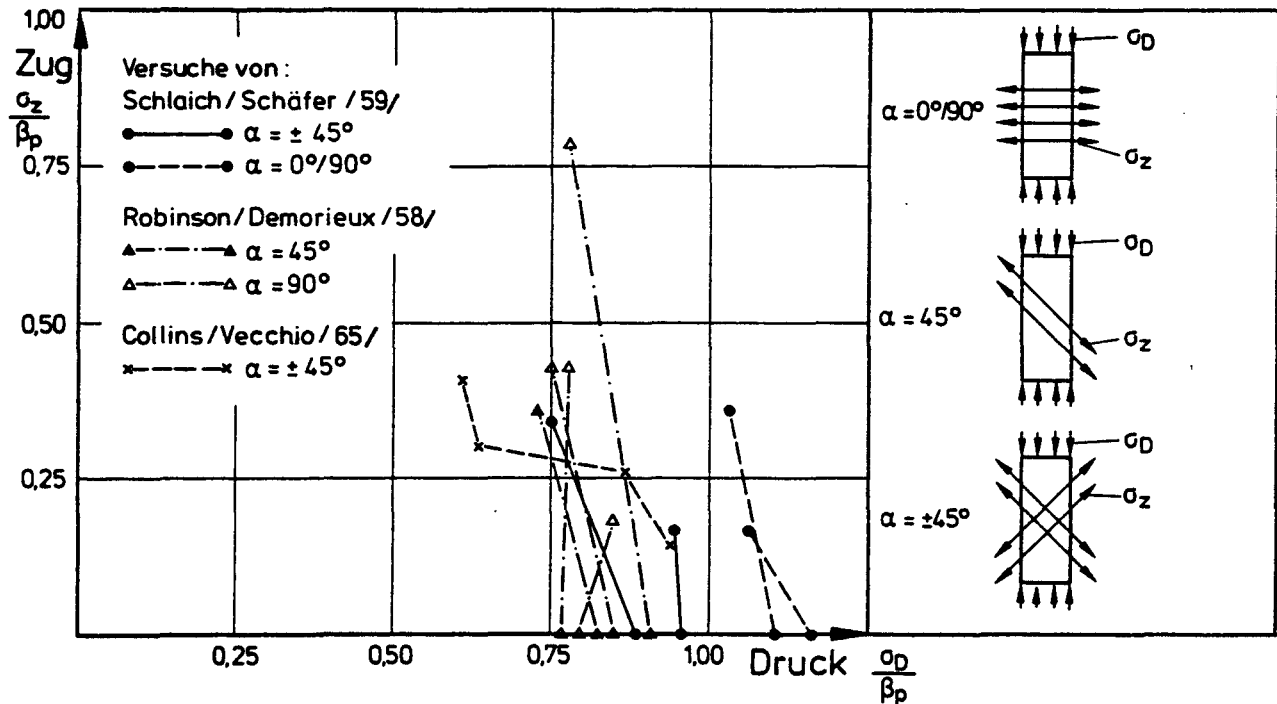


Bild 3.15: Interaktionsdiagramm der Druck-Querzug-Festigkeiten nach /59/

Entscheidenden Einfluß auf die Druckfestigkeit bei gleichzeitiger Querzugbeanspruchung haben sowohl Größe und Richtung der Zugbeanspruchung als auch die Art der einliegenden Bewehrung in Richtung der Zugbeanspruchung. Bei einem schwach bewehrten Betonkörper bilden sich unter Querzugbeanspruchung in der Regel nur wenige Querrisse mit verhältnismäßig großen Abständen, so daß annähernd die gleiche Druckfestigkeit wie bei einem Betonkörper ohne Querrisse erreicht wird, da die Querschnittsfläche zur Übertragung der Druckkraft durch die Rißbildung nur unwesentlich



geschwächt wird. Ist dagegen soviel Bewehrung vorhanden, daß sich eine gleichmäßige Rißverteilung mit kleinen Rißabständen ergibt, wird die Querschnittsfläche zur Aufnahme der Druckkräfte so stark reduziert, daß eine deutliche Abnahme der aufnehmbaren Druckkraft festzustellen ist. Verlaufen außerdem die Querrisse nicht in Richtung der Druckbeanspruchung, wird die aufnehmbare Druckkraft weiter vermindert, da je nach Neigung der Querrisse ein mehr oder weniger großer Anteil der Druckkraft über die Rißufer hinweg übertragen werden muß.

Nach Versuchen von Schlaich/Schäfer /59/, Robinson/Demorieux /58/ und Vecchio/Collins /65/ beträgt die Abminderung der Druckfestigkeit infolge Querkzugbeanspruchung zwischen 20 % und 35 % (Bild 3.15). Um jedoch aus derartigen Versuchen auf die Druckstreben-tragfähigkeit von bewehrten Trägerstegen zu schließen, ist im Einzelnen zu prüfen, inwieweit mit der jeweils gewählten Versuchsanordnung die tatsächlichen Verhältnisse im Trägersteg zutreffend erfaßt werden. Fest steht jedoch, daß zur Ermittlung der Druckstreben-tragfähigkeit infolge der schrägen Querkzugwirkung der Bügel eine verminderte Druckfestigkeit anzusetzen ist. Nach den augenblicklich gültigen Bemessungsvorschriften /10,14, 15/ beträgt die Bruchspannung der Druckstreben zwischen 60 % und 80 % der bei der Biegebemessung angesetzten Druckfestigkeit.

Um die Abhängigkeit der oberen Schubspannungsgrenze von der Betonfestigkeit zu untersuchen, sind in Bild 3.16 die im Versuch ermittelten Bruchschubspannungen von 26 Spann-

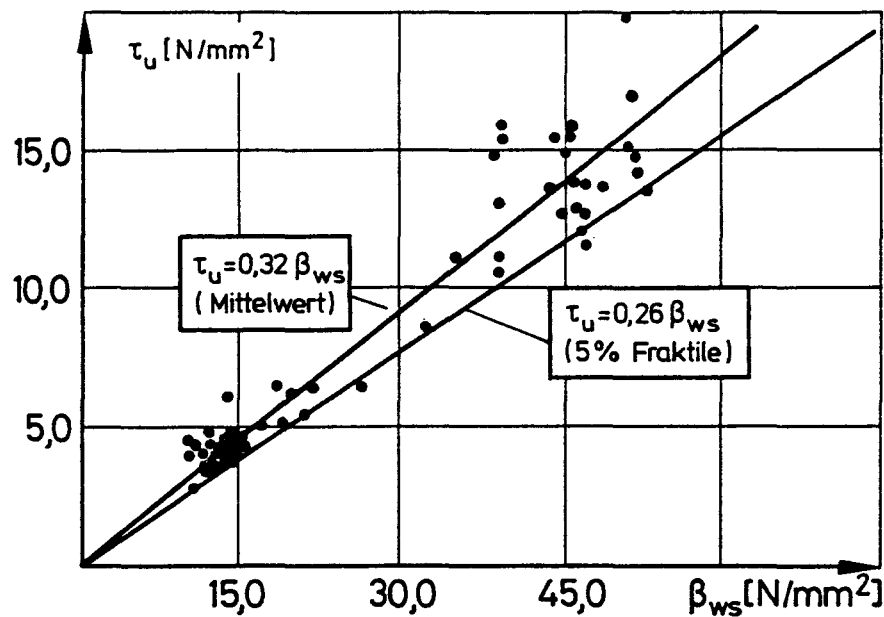


Bild 3.16: Bruchschubspannungen in Abhängigkeit von der Betonfestigkeit für 26 Spannbeton- und 47 Stahlbetonbalken, die durch Druckstrebenbruch versagten

beton- und 47 Stahlbetonbalken, die durch Druckstrebenbruch versagten, in Abhängigkeit von der Betondruckfestigkeit aufgetragen. Alle Versuchsbalken besaßen als Schubbewehrung lotrechte Bügel. Nach Bild 3.16 ist zwischen der Bruchschubspannung und der Würfeldruckfestigkeit ein annähernd linearer Zusammenhang festzustellen, was auch durch zahlreiche andere Untersuchungen bestätigt wird /39,44,47,54/. Im Mittel wurde von den Versuchsbalken eine Bruchschubspannung von

$$\tau_u = 0,32 \beta_{ws} \quad (3.21)$$

erreicht. Die 5 %-Fraktile der Versuchsdaten beträgt

$$\tau_u = 0,26 \beta_{ws} \quad (3.22)$$

Für die Entwicklung eines Bemessungsansatzes ist Gl. (3.22) noch um das Verhältnis Dauerstandfestigkeit zu Kurzzeitfestigkeit abzumindern. Da auf die hier ausgewerteten Versuchsbalken in der Regel mindestens 1 Stunde lang Lasten nahe der Bruchlast eingewirkt haben, erscheint es angemessen, gegenüber Gl. (3.22) einen Festigkeitsverlust von 10 % für Dauerstandbelastungen anzunehmen. Im Vergleich hierzu wird in DIN 1045 bei der Biegebemessung die im Kurzzeitversuch gewonnene Druckfestigkeit mit dem Faktor 0,80 reduziert, da hier die Belastungsgeschwindigkeit von  $0,5 \text{ N/mm}^2$  pro Sekunde erheblich größer als bei den Versuchsbalken ist.

Für Balken mit lotrechter Schubbewehrung kann somit zur Bemessung als obere Schubspannungsgrenze folgende Beziehung angegeben werden:

$$\tau_u = 0,23 \beta_{ws} \quad (3.23)$$

Da zu einer vergleichbaren Auswertung von Balken mit geneigter Schubbewehrung nicht genügend Versuchsdaten vorliegen, wird für geneigte Bügel in Anlehnung an die CEB-Mustervorschrift vorgeschlagen, die Schubspannungen auf

$$\begin{aligned} \tau_u &= 0,23 \beta_{ws} (1 + \cot \alpha) \\ \tau_u &\leq 0,38 \beta_{ws} \end{aligned} \quad (3.24)$$

zu begrenzen.

### 3.6 Zusammenfassung zu einem Rechenansatz

Auf Grundlage der in den vorangegangenen Abschnitten gefundenen Zusammenhängen lassen sich folgende Gleichungen zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit für Stahlbeton- und Spannbetonbalken angeben.

Für Brucharten, die durch Versagen der Bügelbewehrung ausgelöst werden, setzt sich die Schubtraglast aus dem Anteil der Schubbewehrung  $Q_s$ , dem Betontraganteil  $Q_b$  und der Vertikalkomponente der Spannglieder  $Q_v$  zusammen:

$$Q_u = Q_s + Q_b + Q_v$$

Querkraftanteil der Schubbewehrung : (3.25)

$$Q_s = \mu_{ss} \cdot \sigma_{ss} \cdot b_0 \cdot 0,9h \cdot \sin \alpha (1 + \cot \alpha)$$

Betontraganteil:

$$Q_b = h b_0 \Delta \tau \sqrt[2]{\beta_{ws}} \sqrt[3]{\mu_L} \cdot f_F \left(1 + 1,25 \frac{M_o}{M_u}\right)$$

$$\text{mit: } \mu_L = \frac{A_s + A_v}{b_0 h} \quad (\mu_L \text{ in } \%)$$

$$f_F = 0,7 + 0,15 \frac{b}{b_0}; \quad f_F \leq 1,0$$

$M_o$  = Dekompressionsmoment

$$\doteq N_{v+\varphi} \frac{I_b}{y_u} \left[ \frac{1}{A_b} + \frac{y_{bv} \cdot y_u}{I_b} \right]$$

$M_u$  = im Bemessungsschnitt aufzunehmendes Bruchmoment,  $\gamma = 1,75$

Vertikalkomponente der Spanngliedkraft

$$Q_v = N_v \sin \alpha$$

Der noch unbekannte Wert  $\Delta\tau$  in Gl. (3.25), der als Korrekturwert des Betontraganteils bezeichnet wird, kann durch Einsetzen der im Versuch gemessenen Schubbruchlasten aus Gl. (3.26) bestimmt werden:

$$\Delta\tau = \frac{Q_{u,gem.} - Q_s - Q_v}{h b_0 \sqrt[2]{\beta_{ws}} \sqrt[3]{\mu_L} f_F \left(1 + 1,25 \frac{M_d}{M_u}\right)} \quad (3.26)$$

Im Querkraftanteil der Schubbewehrung  $Q_s$  wird als mittlere Bruchspannung der 1,25-fache Wert der Streckgrenze eingesetzt, da einerseits die Festigkeit oberhalb der Streckgrenze bis hin zum Bruch noch deutlich zunimmt /36/ und andererseits bei einem großen Teil der Versuchsdaten nicht die an Materialproben gewonnenen Festigkeiten, sondern nur die Nennfestigkeiten der verwendeten Stähle vorlagen, die eine garantierte Mindestfestigkeit angeben.

Die Auswertung der Gl. (3.26) ergibt sowohl für Spannbeton- als auch für Stahlbetonbalken als Mittelwert  $\Delta\tau = 0,24$ . Die 5 %-Fraktile, die für die Entwicklung eines Bemessungsansatzes von Bedeutung ist, beträgt  $\Delta\tau = 0,19$ .

Für die Bruchart "Versagen der Betondruckstreben" ergibt sich die maximal aufnehmbare Querkraft aus der oberen Schubspannungsgrenze nach Gl. (3.21) bzw. (3.24) in Abhängigkeit von der Neigung der Schubbewehrung zu:

$$Q_D = 0,9h \cdot b_0 \cdot 0,32 \beta_{ws} (1 + \cot \alpha) \quad (3.27)$$

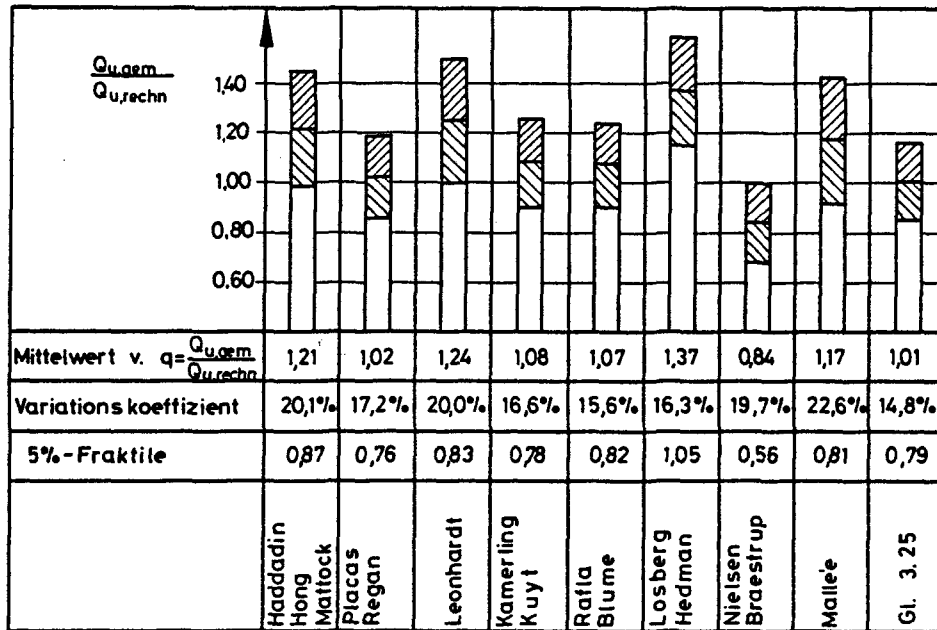
( Mittelwert )

### 3.7 Vergleich mit anderen Rechenansätzen

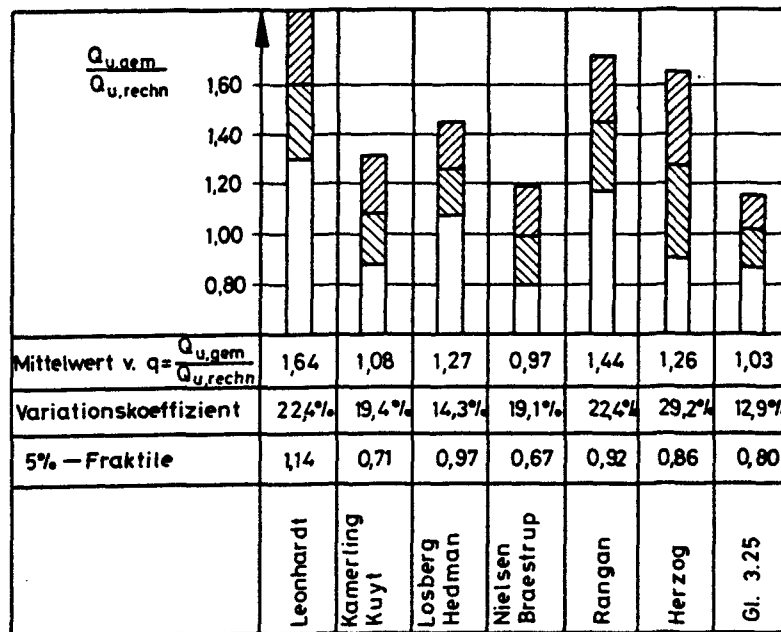
Die Brauchbarkeit und Leistungsfähigkeit der Gl. (3.25) zur Bestimmung der Schubtragfähigkeit wird anhand von Versuchsdaten im Vergleich mit anderen Rechenverfahren nachgewiesen. Hierzu sind in den Bildern 3.17 und 3.18 die Mittelwerte des Quotienten aus gemessener und rechnerischer Bruchquerkraft getrennt für Stahlbeton und Spannbeton sowie die zugehörigen statistischen Kenngrößen angegeben. Beim Vergleich der verschiedenen Rechenansätze besitzt der Variationskoeffizient aus sicherheitstheoretischer Sicht besondere Bedeutung: Je kleiner der Variationskoeffizient ist, umso geringer ist die statistische Unsicherheit bei der Berechnung der Schubtragfähigkeit.

Der Vergleich der Rechenansätze für Stahlbeton zeigt, daß der hier entwickelte Rechenansatz die beste Übereinstimmung ( $\bar{x} = 1,01$ ) bei gleichzeitig geringstem Variationskoeffizienten ( $v = 14,8 \%$ ) liefert. Die Ergebnisse der Rechenansätze von Placas/ Regan /53/, Kamering/Kuyt /25/, Rafla/Blume /54/ und Losberg/Hedman /22/ sind ebenfalls noch zufriedenstellend, deuten aber schon darauf hin, daß einzelne Parameter nicht richtig erfaßt werden.

Die Gegenüberstellung der rechnerischen und gemessenen Tragfähigkeiten für Spannbetonbalken zeigt eine ähnliche Tendenz wie bei Stahlbeton. Mit Gl. (3.25) kann die Querkrafttragfähigkeit am besten vorausgesagt werden ( $\bar{x} = 1,03$ ) bei gleichzeitig geringstem Variationskoeffizienten ( $v = 12,9 \%$ ). Ledig-



**Bild 3.18 :** Vergleich der Mittelwerte des Quotienten aus gemessener und rechnerischer Schubtragfähigkeit von 183 Versuchen an Spannbetonbalken



**Bild 3.18 :** Vergleich der Mittelwerte des Quotienten aus gemessener und rechnerischer Schubtragfähigkeit von 174 Versuchen an Spannbetonbalken

lich mit den Ansatz nach Losberg/Hedman /22/ kann die Schubtragfähigkeit von Spannbetonbalken noch mit vergleichbarer Sicherheit ( $v = 14,3 \%$ ) bestimmt werden. Die größere Streuung zwischen rechnerischer und gemessener Schubtragfähigkeit bei den übrigen Rechenverfahren ist in erster Linie darauf zurückzuführen, daß verschiedene Einflußparameter nicht richtig erfaßt werden. Dies wird auch durch die Ergebnisse einer Regressionsanalyse in Bild 3.19 bestätigt (vgl. Kap. 2.4.2). Die angegebenen Regressionskoeffizienten sind ein Maß für die Abhängigkeit des Verhältniswertes  $q$  aus gemessener und rechnerischer Schubtraglast von den verschiedenen Parametern. Der Rechenansatz nach Gl (3.25) weist im Gegensatz zu allen übrigen Berechnungsansätzen für alle untersuchten Einflußgrößen gleichmäßig kleine Regressionskoeffizienten auf, d.h. die wesentlichen Einflußparameter auf das Schubtragverhalten werden weitgehend richtig beurteilt.



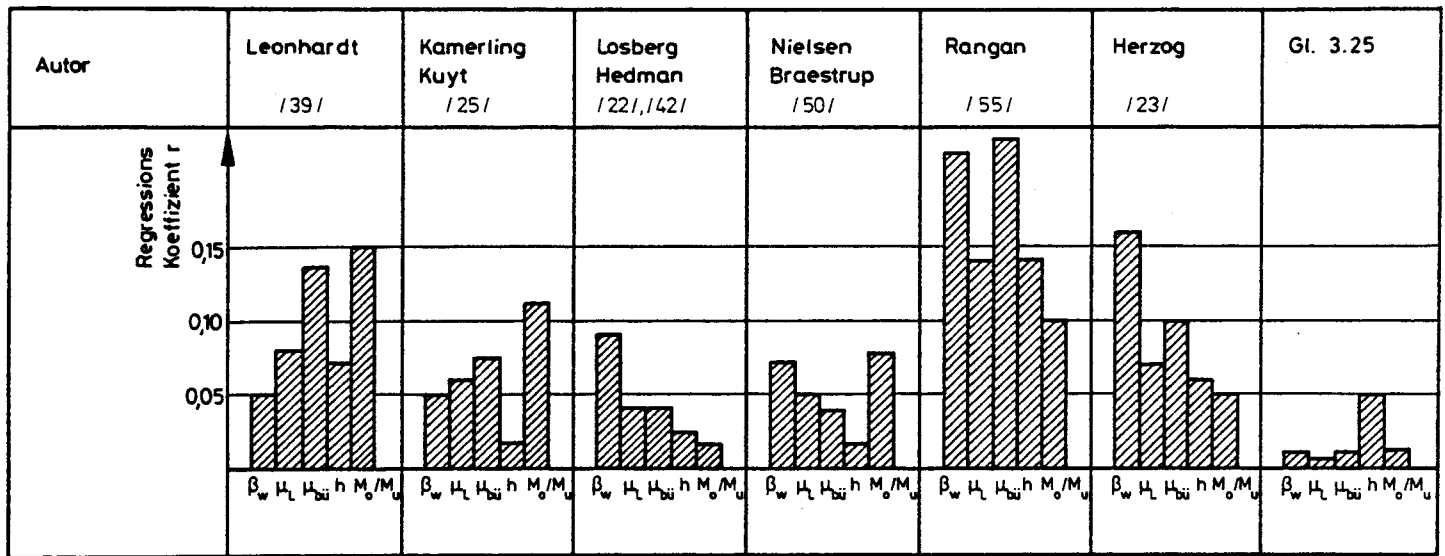


Bild 3.19: Regressionskoeffizienten  $r$  des Quotienten aus gemessener und rechnerischer Schubtragfähigkeit in Abhängigkeit der wichtigsten Einflußparameter für 183 Spannbetonbalken

#### 4 BEMESSUNGSVORSCHLAG

Die Bemessung der Schubbewehrung erfolgt wie die Biegebemessung im Bruchzustand, so daß erst unter Einwirkung der 1,75-fachen Gebrauchslast die rechnerischen Bügelspannungen die Streckgrenze erreichen. In den vorangegangenen Kapiteln ist durch Vergleich mit Versuchsergebnissen nachgewiesen worden, daß mit Gl. (3.25) sowohl für Stahlbeton als auch Spannbeton die Schubbruchlast im Mittel sicher bestimmt werden kann. In Bemessungsvorschriften wird jedoch üblicherweise die Sicherheit bezogen auf die 5 %-Fraktile angegeben, d.h. statt des Mittelwertes muß von der 5 %-Fraktile der Bruchlast ausgegangen werden. Da die 5 %-Fraktile des Quotienten  $Q_{u, \text{gem}}/Q_{u, \text{rechn}}$  nach Gl. (3.25) für Spannbeton und Stahlbeton im Mittel bei 0,80 liegt, wird die rechnerische Schubtragfähigkeit um den Faktor 0,8 reduziert. Dies führt im einzelnen zu folgenden Änderungen in Gl. (3.25):

Als Korrekturwert des Betontraganteils wird anstelle von  $\Delta\tau = 0,24$  nunmehr  $\Delta\tau = 0,19$  eingeführt. Als Bruchspannung der Schubbewehrung wird die Streckgrenze angesetzt. Für die Bruchart "Versagen der Druckstreben" wird die 5 %-Fraktile der Bruchschubspannung zusätzlich um weitere 10 % abgemindert (vgl. Kap. 3.5.5), um die Tragfähigkeitsverluste unter Dauerstandbelastungen zu berücksichtigen.

Danach betragen für einen Bemessungsvorschlag zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit

$$Q_u \begin{cases} Q_s + Q_b + Q_v \\ \leq Q_D \end{cases}$$

die einzelnen Anteile

Querkraftanteil der Schubbewehrung : (4.1)

$$Q_s = \mu_{s,s} \cdot \sigma_{s,s} \cdot b_o \cdot 0,9h \cdot \sin \alpha (1 + \cot \alpha)$$

Betontraganteil:

$$Q_b = h b_o \cdot 0,19 \sqrt[2]{\beta_{wN}} \sqrt[3]{\mu_L} \cdot f_F \left(1 + 1,25 \frac{M_o}{M_u}\right)$$

$$\text{mit: } \mu_L = \frac{A_s + A_v}{b_o h} \quad (\mu_L \text{ in } \%)$$

$$f_F = 0,7 + 0,15 \frac{b}{b_o}; \quad f_F \leq 1,0$$

$M_o$  = Dekompressionsmoment

$$\doteq N_{v+\varphi} \frac{l_b}{y_u} \left[ \frac{1}{A_b} + \frac{y_{bv} \cdot y_u}{I_b} \right]$$

$M_u$  = im Bemessungsschnitt  
aufzunehmendes Bruch -  
moment,  $\gamma = 1,75$

Vertikalkomponente der Spanngliedkraft

$$Q_v = N_v \sin \alpha$$

Druckstreben­tragfähigkeit

(obere Schubspannungsgrenze)

$$Q_D = 0,9h \cdot b_o \cdot 0,23 \beta_{wN} (1 + \cot \alpha)$$

$$Q_D \leq 0,9h b_o \cdot 0,38 \beta_{wN}$$

Mit Gl. (4.1) ergeben sich die in Bild 4.1 dargestellten Häufigkeitsverteilungen des Quotienten  $Q_{u,gem}/Q_{u,rechn}$ , die annähernd einer Normalverteilung entsprechen. Sowohl für Stahlbeton- als auch für Spannbetonbalken erreicht die 5 %-Fraktile den angestrebten Wert von 1,0.

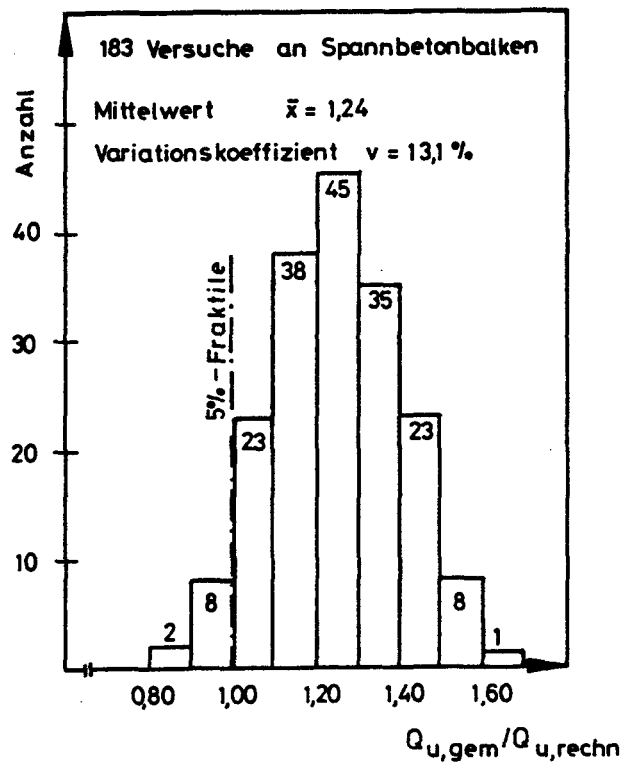
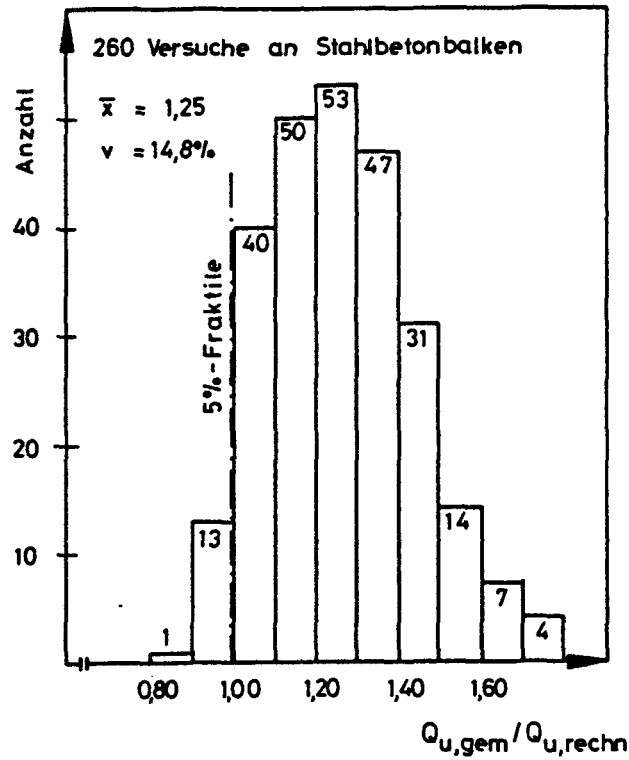


Bild 4.1: Häufigkeitsdiagramme für den Quotienten aus gemessener und rechnerischer Schubtragfähigkeit

## 5 VERGLEICH DES BEMESSUNGSVORSCHLAGES MIT DEN NORMEN

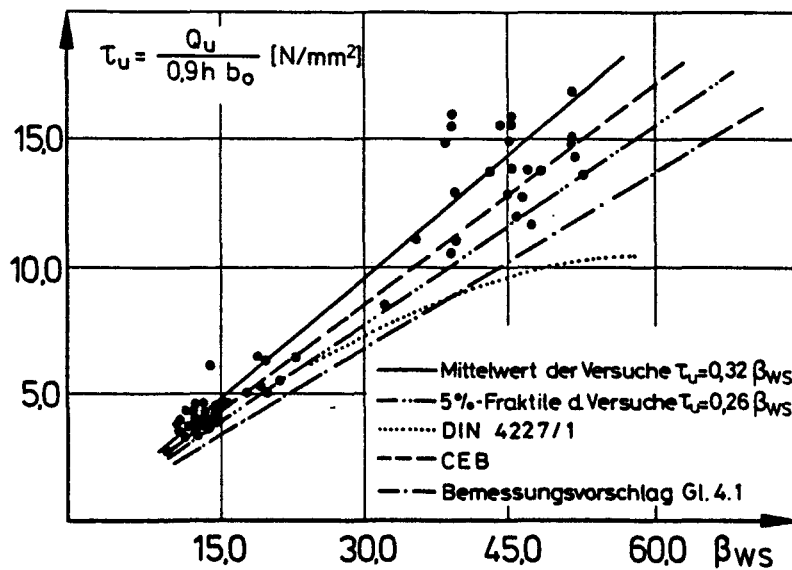
Die augenblicklich gültigen Schubbemessungsvorschriften nach DIN 4227/1 /15/ und CEB /10/ wurden auf Grundlage der erweiterten Fachwerkanalogie entwickelt. Während die klassische Fachwerkanalogie mit  $45^{\circ}$  geneigten Druckstreben der Schubbewehrung noch die gesamten Stegzugkräfte zuweist, ist nach DIN 4227/1 und CEB weniger Schubbewehrung erforderlich. Beide Normen berücksichtigen, daß einerseits die Biegedruckzone, die Rißverzahnung und die Dübelwirkung der Längsbewehrung zur Querkraftaufnahme beitragen, und andererseits die tatsächliche Neigung der Druckstreben geringer als  $45^{\circ}$  ist, was zu einer weiteren Entlastung der Schubbewehrung führt. Um die von der klassischen Fachwerkanalogie abweichenden Tragwirkungen zu erfassen, werden in DIN 4227/1 und CEB formal zwei unterschiedliche Wege eingeschlagen: Beim "Standard-Verfahren" nach CEB ergibt sich die Schubtragfähigkeit aus einem Fachwerkanteil mit einer Druckstrebenneigung von  $45^{\circ}$  und einem Betontraganteil, der die übrigen Querkrafttragwirkungen zusammenfaßt. Dagegen wird in DIN 4227/1 sowie im "Verfeinerten Verfahren" nach CEB die höhere Tragfähigkeit gegenüber der klassischen Fachwerkanalogie durch eine Änderung der Druckstrebenneigung erfaßt. Diese wird soweit reduziert, daß sowohl die tatsächliche Verringerung der Druckstrebenneigung als auch die übrigen Querkrafttragwirkungen berücksichtigt werden. Bei DIN 4227/1 führt dieser Umweg über eine fiktive Druckstrebenneigung - die weder mit der tatsächlichen Druckstrebenneigung noch

DIN 4227/1	<u>Versagen der Schubbewehrung</u> $Q_u = \mu_{s,s} \cdot \beta_{s,s} \cdot b_0 \cdot z (\cot \vartheta + \cot \alpha) ; Q_u \leq Q_D$ mit : $\tan \vartheta = 1 - \frac{\Delta \tau}{\tau_R} ; \tan \vartheta \geq 0,4$ $\Delta \tau = 60\%$ der Werte von Zeile 50, Tab.9, DIN 4227/1 <u>Druckstrebenversagen:</u> $Q_D = b_0 \cdot z \cdot \text{zul.} \tau_R \quad \text{zul.} \tau_R \text{ Z.56-61, Tab.9, DIN 4227/1}$
Verfeinerte Methode CEB	<u>Versagen der Schubbewehrung</u> $Q_u = Q_b + Q_s + Q_v ; Q_u \leq Q_D$ mit : $Q_b = 2,5 \tau_{RD} \cdot b_0 \cdot h$ für $Q_u \leq 2,5 \tau_{RD} b_0 h$ $Q_b = 0$ für $Q_u \geq 7,5 \tau_{RD} b_0 h$ $\tau_{RD} \approx 0,05 \beta_p^{2/3}$ $Q_s = \mu_{s,s} \cdot \beta_{s,s} \cdot b_0 \cdot 0,9 h \sin \alpha (\cot \vartheta + \cot \alpha)$ $3/5 \leq \tan \vartheta \leq 5/3$ <u>Druckstrebenversagen:</u> $Q_D = b_0 h \cdot 0,3 \beta_p \cdot \sin 2\vartheta$
Standard Methode CEB	<u>Versagen der Schubbewehrung</u> $Q_u = Q_b + Q_s + Q_v ; Q_u \leq Q_D$ mit : $Q_b = 2,5 \tau_{RD} b_0 h \cdot \beta_1 ; \tau_{RD} \approx 0,05 \beta_p^{2/3} ; \beta_1 = 1 + \frac{M_o}{M_u}$ $Q_s = \mu_{s,s} \cdot \beta_{s,s} \cdot b_0 \cdot 0,9 h (1 + \cot \alpha) \sin \alpha$ <u>Druckstrebenversagen:</u> $Q_D = b_0 h \cdot 0,3 \beta_p$

Tabelle 5.1: Schubbemessungsgleichungen nach DIN 4227/1 und CEB

mit der Schubrißneigung übereinstimmt - zu einem konstanten Betontraganteil, der unabhängig von Belastungshöhe und Schubbewehrungsgrad ist.

Nachfolgend werden die rechnerischen Schubtragfähigkeiten nach CEB, DIN 4227/1 und dem hier entwickelten Bemessungsansatz (Gl. 4.1) mit Versuchsergebnissen verglichen. Die hierfür benötigten Gleichungen sind in Tabelle 5.1 zusammengestellt. Für DIN 4227/1 sind nur die Gleichungen für den Schubnachweis in Zone b angegeben, da einerseits die Verhält-



**Bild 5.1:** Bruchschubspannungen beim Druckstrebenbruch für 73 Stahlbeton- und Spannbetonbalken in Abhängigkeit von der Betondruckfestigkeit

nisse von Zone a (der Zuggurt bleibt in den Schubzonen auch unter der Bruchlast ungerissen) nur selten vorliegen und andererseits in Zone a auch näherungsweise wie in Zone b gerechnet werden darf. Auf die Bemessungsgleichungen nach DIN 1045 soll nicht näher eingegangen werden, da Bestrebungen bestehen, das Bemessungskonzept von DIN 1045 entweder an DIN 4227/1 oder CEB anzupassen.

Bei der Bestimmung der Schubtragfähigkeit wird zwischen den Brucharten Versagen der Schubbewehrung und Versagen der Betondruckstreben unterschieden. Der Nachweis der Druckstrebentragfähigkeit erfolgt bei den hier untersuchten Bemessungsvorschriften durch eine Beschränkung der maximal aufnehmbaren Schubspannungen. Während CEB und auch der Bemessungsvorschlag nach Gl. (4.1) eine lineare Abhängigkeit zwischen oberer Schub-

spannungsgrenze und Betonfestigkeit voraussetzen, nimmt nach DIN 4227/1 das Verhältnis Bruchschubspannung zu Betonfestigkeit mit steigender Betonfestigkeit ab.

Zur Überprüfung dieser Zusammenhänge sind in Bild 5.1 die im Versuch erreichten Bruchschubspannungen von 73 Spannbeton- und Stahlbetonbalken mit Druckstrebenversagen den rechnerischen Werten gegenübergestellt. Die Versuchsdaten bestätigen, daß zwischen der oberen Schubspannungsgrenze und der Betonfestigkeit ein annähernd linearer Zusammenhang besteht. Ein geringerer Anstieg der Bruchschubspannung bei hohen Betongüten, wie in DIN 4227/1 angenommen, ist anhand der vorliegenden Versuchsdaten nicht festzustellen.

Mit dem linearen Ansatz nach CEB wird die Druckstrebentragfähigkeit deutlich überschätzt. Die rechnerischen Werte nach CEB liegen oberhalb der 5 %-Fraktile der im Versuch ermittelten Bruchschubspannungen, die sich für dauernd einwirkende Lasten noch verringern. Dem Bemessungsvorschlag nach Gl. (4.1) wurde dagegen die 5 %-Fraktile der Versuchswerte zugrundegelegt. Um den Einfluß von Dauerstandbelastungen zu erfassen, wurde dieser Fraktilenwert um weitere 10 % reduziert. Der direkte Vergleich zwischen DIN 4227/1 und Gl. (4.1) zeigt, daß für niedrige Betonfestigkeiten beide Rechenansätze annähernd gleiche Ergebnisse liefern. Für Betongüten  $\geq$  B 35, die im Spannbetonbau vorwiegend verwendet werden, ergibt sich nach DIN 4227/1 mit steigender Betonfestigkeit eine zu geringe Druckstrebentragfähigkeit.



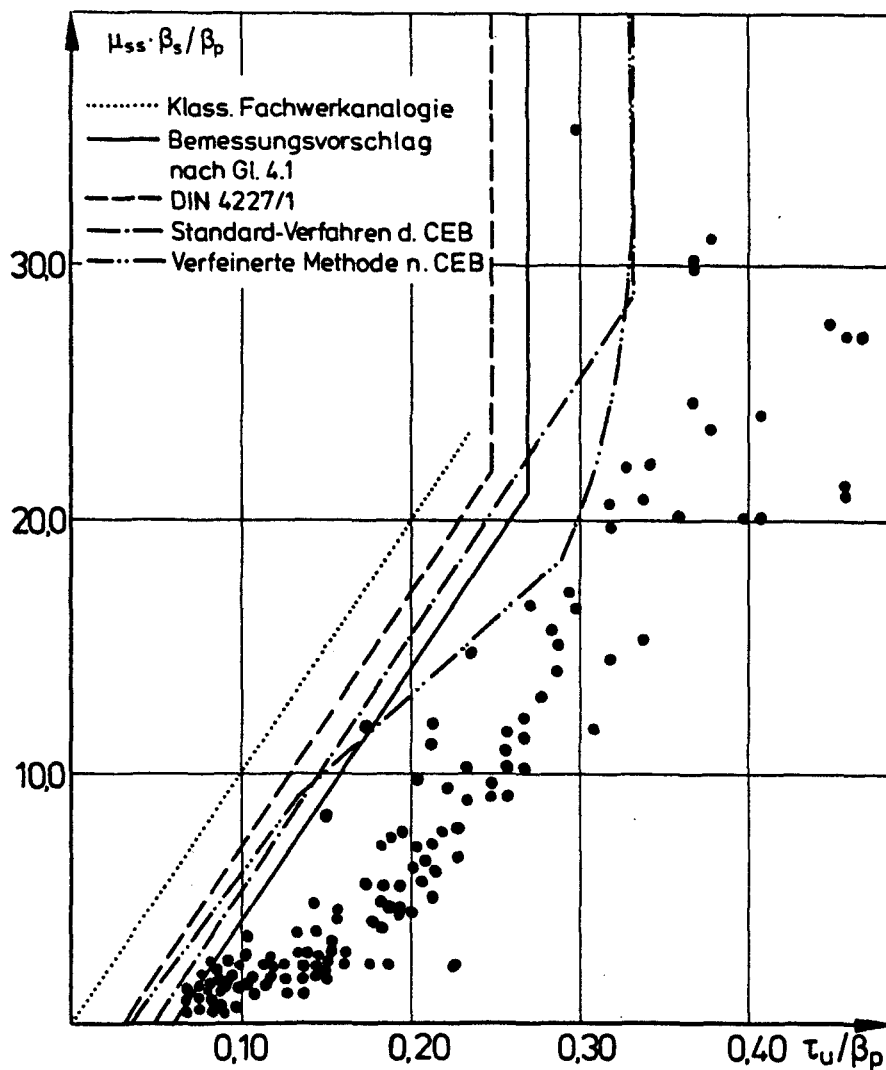
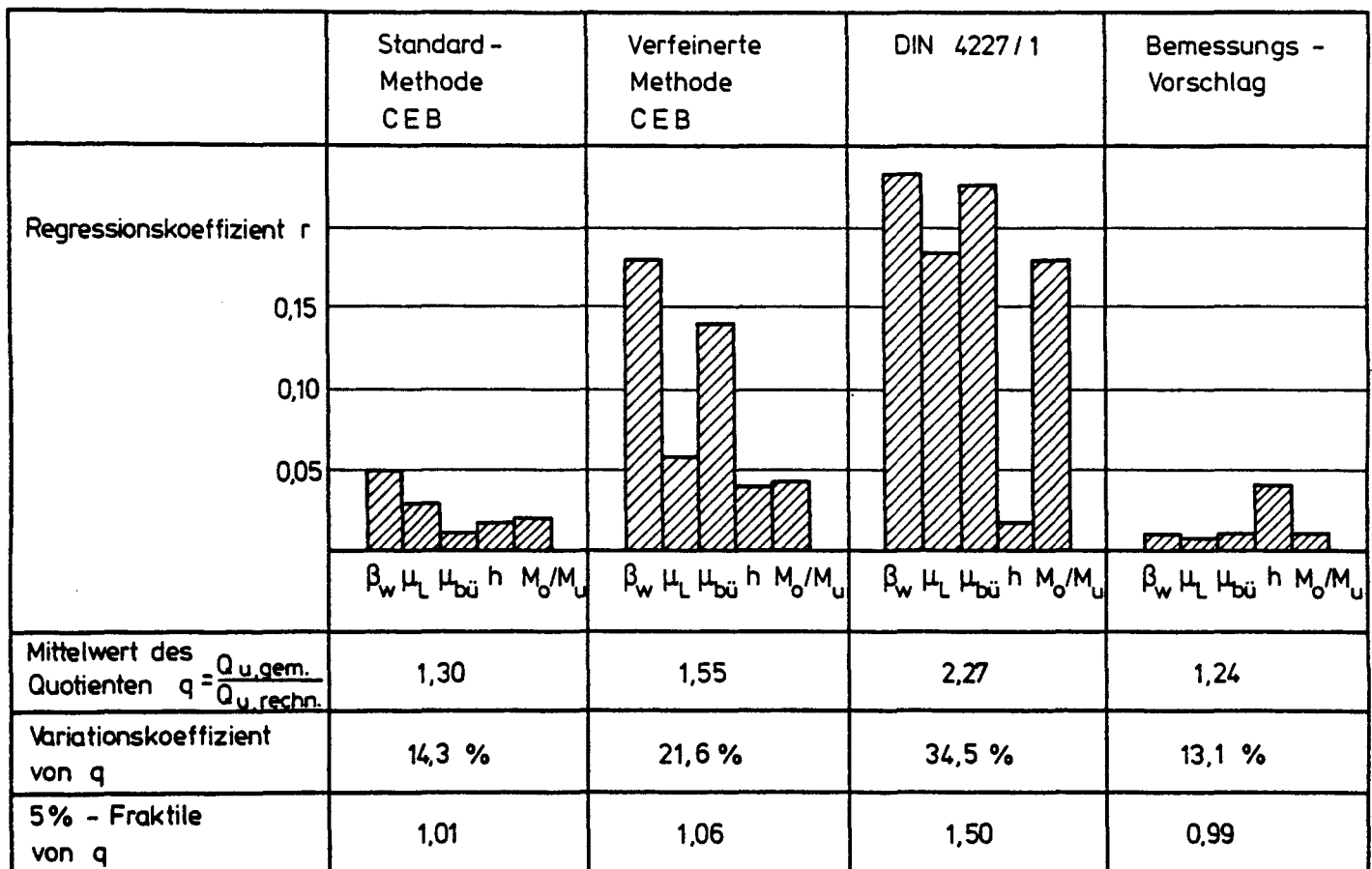


Bild 5.2: Erforderliche Schubbewehrung nach verschiedenen Vorschriften und Gl. 4.1 im Vergleich mit Versuchsergebnissen

Bei mittleren und geringen Schubbewehrungsgraden ist die Bewehrung für das Schubversagen maßgebend. Um die Unterschiede zwischen den verschiedenen Normen herauszustellen, werden in Bild 5.2 die rechnerisch aufnehmbaren Schubspannungen mit den im Versuch erzielten Bruchschubspannungen verglichen. Hierbei wird unterstellt, daß die Teilsicherheitsbeiwerte der CEB dem globalen Sicherheitsbeiwert nach DIN 4227/1 von  $\gamma = 1,75$  entsprechen.



**Bild 5.3:** Vergleich der Mittelwerte des Quotienten aus gemessener und rechnerischer Schubtragfähigkeit und Regressionskoeffizienten für die wichtigsten Einflußgrößen

Mit Ausnahme der "Verfeinerten Methode" nach CEB wird von allen übrigen Rechenansätzen für die von der klassischen Fachwerkanalogie abweichenden Tragwirkungen ein konstanter Betonabzugswert angesetzt. Während nach DIN 4227/1 der Betontraganteil allein von der Betonfestigkeit abhängt, wird beim "Standard-Verfahren" nach CEB neben der Betonfestigkeit die Höhe der Vorspannung berücksich-

tigt, indem der Betontraganteil um den Faktor  $(1 + M_o/M_u)$  vergrößert wird. In Gl. (4.1) wird zusätzlich zu den aufgeführten Parametern der Einfluß des Längsbewehrungsgrades auf den Betontraganteil erfaßt. Die in Bild 5.2 zum Teil deutlichen Unterschiede zwischen rechnerischen und gemessenen Bruchschubspannungen sind in erster Linie darauf zurückzuführen, daß die eingezeichneten Kurvenverläufe für Mittelwerte der in den Versuchen variierten Parametern berechnet sind.

In Bild 5.3 werden die wesentlichen statistischen Kenngrößen der Gegenüberstellung von rechnerischer und gemessener Schubtragfähigkeit zusammengefaßt. Mit dem Bemessungsansatz nach DIN 4227/1 und der Verfeinerten Methode nach CEB werden die wesentlichen Einflußgrößen auf das Schubtragverhalten von Spannbetonbalken nur unbefriedigend erfaßt. Dagegen liefern das Standard-Verfahren nach CEB und Gl. (4.1) zutreffendere Ergebnisse. Die im Vergleich zum Standard Verfahren nach CEB noch höhere Genauigkeit des Rechenansatzes nach Gl. (4.1) ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß im Betontraganteil die Einflußgrößen Vorspannung, Betonfestigkeit und Längsbewehrungsgrad besser beurteilt werden.

Zusammenfassend können aus dem Vergleich der Normen mit dem Bemessungsvorschlag nach Gl. (4.1) folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

Von den augenblicklich gültigen Normen zur Schubbemessung von Spannbetonbalken erfaßt lediglich das CEB-Standard-Verfahren die

wesentlichen Einflußgrößen auf das Schubtragverhalten gleichmäßig zutreffend. Die Verfeinerte Methode nach CEB und das Schubbemessungskonzept nach DIN 4227/1 erscheinen weniger geeignet, da sie vor allem die für Spannbetonbalken wichtige Einflußgröße des Vorspanngrades nicht erfassen. Dagegen sind das Standard-Verfahren und der Bemessungsvorschlag nach Gl. (4.1) so aufgebaut, daß sich ein kontinuierlicher Übergang bei der Schubbemessung von Stahlbeton bis hin zur vollen Vorspannung ergibt.

Um die Genauigkeit des CEB-Standard-Verfahrens weiter zu verbessern, wird vorgeschlagen, in Anlehnung an Gl. (4.1) folgende Änderungen vorzunehmen:

Zunächst ist die obere Schubspannungsgrenze entsprechend Gl. (4.1) auf  $\tau_u = 0,24 \cdot \beta_p$  zu reduzieren. Der Wert  $0,24 \cdot \beta_p$  ergibt sich aus Gl. (4.1) mit dem Umrechnungsfaktor 0,85 für das Verhältnis Prismen- zur Würfeldruckfestigkeit und dem Faktor 0,90, der berücksichtigt, daß der CEB-Ansatz die Bruchschubspannung im Gegensatz zu Gl. (4.1) auf die gesamte Stegfläche  $A_{\text{Steg}} = b_o \cdot h$  bezieht ( $\tau_u = 0,24 \cdot \beta_p = 0,9 \cdot 0,23 \cdot \beta_{WN} / 0,85$ ). Weiterhin sollte im Betontraganteil der Längsbewehrungsgrad berücksichtigt und der Faktor  $(1 + M_o/M_u)$  erhöht werden, um insgesamt eine stärkere Bewertung des Vorspanngrades zu erzielen.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Untersuchungen zum Schubtragverhalten von Spannbetonbauteilen mit Verbund war es, den Einfluß der Höhe der Vorspannung näher zu untersuchen. Es sollte ein Schubmessungsansatz entwickelt werden, der es ermöglicht, den Einfluß der Vorspannung kontinuierlich für alle Vorspanngrade, angefangen bei der teilweisen Vorspannung bis hin zur vollen Vorspannung, wiederzugeben. Obwohl bis zum heutigen Zeitpunkt schon zahlreiche Berechnungsansätze zur Bestimmung der Schubtragfähigkeit aufgestellt wurden, zeigte eine Gegenüberstellung mit Versuchsdaten, daß zwar eine Reihe von Verfahren in der Lage sind, die Schubtragfähigkeit relativ sicher vorauszusagen, aber die einzelnen Einflußgrößen selbst zum Teil nur unbefriedigend erfaßt werden.

Um die wesentlichen Einflußgrößen auf das Schubtragverhalten zu überprüfen, wurde eine systematische Auswertung von rund 600 in der Literatur beschriebenen Versuchen an Stahlbeton- und Spannbetonbalken vorgenommen. Hierbei wurde zunächst das Schubtragverhalten von Stahlbetonbauteilen behandelt, um darauf aufbauend den Einfluß der Vorspannung beurteilen zu können.

Bei der Entwicklung eines Berechnungsansatzes wurde als Tragmodell ein Fachwerk gewählt, da mit einer Fachwerkanalogie der Kräfteverlauf in einem schubbeanspruchten Bauteil anschaulich dargestellt werden kann. Im gewählten Rechenansatz setzt sich die Schubtragfähigkeit aus 3 Anteilen zusammen:

Querkraftanteil der Schubbewehrung,  
Betontraganteil  
Vertikalkomponente der Spanngliedkraft.

Der Querkraftanteil der Schubbewehrung wird mit Hilfe eines Fachwerkmodells, dessen Druckstrebenneigung  $45^{\circ}$  beträgt, bestimmt. Die von einem  $45^{\circ}$ -Fachwerk abweichende Tragfähigkeit der Schubbewehrung und die Querkraftanteile der Rißverzahnung, der Dübelwirkung und der Biegedruckzone werden zu einem Betontraganteil zusammengefaßt. Der Querkraftanteil geneigter Spannglieder kann direkt aus der normal zur Balkenlängsachse wirkenden Komponente der Spanngliedkraft ermittelt werden.

Die Zusammenhänge zur Beschreibung des Betontraganteils wurden stufenweise in enger Anlehnung an Versuchsergebnisse hergeleitet, indem die einzelnen gewonnenen Zusammenhänge unmittelbar durch Versuchsdaten belegt wurden. Die Auswertung zeigt, daß der Bügelbewehrungsgrad und die Bauteilhöhe keinen nennenswerten Einfluß auf den Betontraganteil besitzen, während die Parameter Betonfestigkeit, Längsbewehrungsgrad, Querschnittsform und das Verhältnis  $M_o/M_u$  den Betontraganteil stark beeinflussen.

Die Querkrafttragfähigkeit der Druckstreben kann in Abhängigkeit von der Stegdicke und der Nutzhöhe mit Hilfe einer oberen Schubspannungsgrenze berechnet werden, die linear von der Betonfestigkeit abhängt.

Nachdem die Leistungsfähigkeit der gewonnenen Ansätze (Gl. 3.25) durch Vergleich mit Versuchsergebnissen nachgewiesen war, konnte schließlich ein normgerechter Bemessungsvorschlag (Gl. 4.1) entwickelt werden, der eine einfache und ausreichend sichere Bestimmung der Schubtragfähigkeit ermöglicht. Einschränkend ist darauf hinzuweisen, daß der hier entwickelte Rechenansatz nach dem Additionsprinzip ( $Q_u = Q_s + Q_b + Q_v$ ) streng genommen nur im Bereich der untersuchten Parameterkombinationen, die üblichen baupraktischen Verhältnissen entsprechen, Gültigkeit besitzt.

Ein abschließender Vergleich des Bemessungsvorschlages (Gl. 4.1) mit den augenblicklich gültigen Bemessungsvorschriften nach DIN 4227/1 und der CEB-Mustervorschrift führte zu folgenden Ergebnissen:

Lediglich das CEB-Standard-Verfahren zur Schubbemessung erfaßt die wesentlichen Einflußgrößen auf das Schubtragverhalten gleichmäßig zutreffend. Die Verfeinerte Methode nach CEB und das Schubbemessungskonzept nach DIN 4227/1 erscheinen weniger geeignet, vor allem da sie die für Spannbeton so wichtige Einflußgröße des Vorspanngrades nicht erfassen. Dagegen sind das Standard-Verfahren und der Bemessungsvorschlag nach Gl. (4.1) so aufgebaut, daß ein kontinuierlicher Übergang bei der Schubbemessung von Stahlbeton bis hin zur vollen Vorspannung erfolgt. Die Genauigkeit des CEB-Standard-Verfahrens kann noch verbessert werden, wenn einerseits die obere Schubspannungsgrenze auf  $\tau_u = 0,24 \cdot \beta_p$  reduziert und andererseits der Ansatz für den Betontraganteil von Gl. (4.1) übernommen wird.

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Alatorre, G.; Casillas, J.  
Shear Strength Behaviour of Concrete Beams Subjected to Alternative Loads, Rilem-Symposium on the Effects of Repeated Loading of Materials and Structures, Vol IV, Mexico City, September 1966
- /2/ Arthur, P.D.  
The Shear Strength of Pre-Tensioned I-Beams with Unreinforced Webs, Magazine of Concrete Research, Vol. 17, No. 53, S. 199-210, Dezember 1965
- /3/ Bachmann, H.  
Versuche über den Einfluß geneigter Spannglieder auf das Schubtragverhalten teilweise vorgespannter Betonbalken, Bauingenieur 51, S. 251-258, 1976
- /4/ Baumann, Th.; Rüschi, H.  
Versuche zum Studium der Verdübelungswirkung der Biegezugbewehrung eines Stahlbetonbalkens, Heft 210 der Schriftenreihe DAfStb, 1970
- /5/ Bennett, E.W.; Debaiky, S.Y.  
High Strength Steel as Shear Reinforcement in Prestressed Concrete Beams, ACI-Publication, Sp 42-10, S. 231-248, 1974
- /6/ Bennett, E.W.; Balasooriya, B.M.A.  
Shear Strength of Prestressed Beams with Thin Webs Failing in Inclined Compression, ACI-Journal, S. 204-212, März 1971



- /7/ Bhal, N.S.  
Über den Einfluß der Balkenhöhe auf die Schubtragfähigkeit von einfeldrigen Stahlbetonbalken mit und ohne Schubbewehrung, Schriftenreihe des Otto-Graf-Institutes, Universität Stuttgart, Heft 35, 1968
- /8/ Braestrup, M.W.; Nielsen, M.P.; Bach, F.; Jensen, B.C.  
Shear Tests on Reinforced Concrete T-Beams, Technical University of Denmark, Structural Research Laboratory, Rapport Nr. R 72, Kopenhagen 1976
- /9/ Bresler, B.; Scordelis, A.C.  
Shear Strength of Reinforced Concrete Beams, ACI-Journal, S.51-73, 1963
- /10/ CEB/FIP  
Mustervorschrift für Tragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton, Ausgabe 1978
- /11/ Cederwall, K.; Hedman, O.; Losberg, A.  
Shear Strength of Partially Prestressed Beams with Pretensioned Reinforcement of High Grade Deformed Bars, ACI-Publication, Sp 42-9, S. 215-230, 1974
- /12/ Cederwall, K.; Hedman, O.; Losberg, A.  
Shear Strength of Partially Prestressed Beams with Pretensioned Reinforcement of High Grade Deformed Bars, Publication 70:6, Technische Hochschule Chalmers, Göteborg 1970
- /13/ Clark, A.P.  
Diagonal Tension in Reinforced Concrete Beams, ACI-Journal, S. 145-156, Oktober 1951

/14/ DIN 1045

Beton- und Stahlbetonbau, Bemessung und Ausführung, Ausgabe 1978

/15/ DIN 4227 - Teil 1

Spannbeton, Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung, Ausgabe 1979

/16/ DIN 4227 Teil 3

Spannbetonbauteile in Segmentbauart, Vornorm, Dezember 1983

/17/ Evans, R.H.; Schumacher, E.G.

Shear Strength of Prestressed Beams without Web Reinforcement, ACI-Journal, S. 1621-1642, November 1963

/18/ Grob, J.; Thürlimann, B.

Ultimate Strength and Design of Reinforced Concrete Beams under Bending and Shear, IVBH-Abhandlungen, 36-II, S. 105-120, 1976

/19/ Guralnik, S.A.

High-Strength Deformed Steel Bars for Concrete Reinforcement, ACI-Journal, S. 241-282, September 1960

/20/ Haddadin, M.J.; Hong, S.T.; Mattock, A.H.

Stirrup Effectiveness in Reinforced Concrete Beams with Axial Force, Journal of Structural Division, S. 2277-2297, September 1971

/21/ Hanson, J.M.; Hulsbos, C.L.

Ultimate Shear Tests of Prestressed Concrete I-Beams under Concentrated and Uniform Loadings, PCI-Journal, Vol. 19, S. 15-28, Juni 1964

- /22/ Hedman, O.; Losberg, A.  
Design of Concrete Structures with Regard to  
Shear Forces, Chalmers Tekniska Högskola, Göte-  
borg, Publication 75:9E, 1975
- /23/ Herzog, M.  
Die erforderliche Bügelbewehrung von Stahlbeton-  
und Spannbetonbalken, Beton und Stahlbetonbau,  
S.203-209, Heft 8, 1982
- /24/ Hicks, A.B.  
The Influence of Shear Span and Concrete  
Strength upon the Shear Resistance of Pretensio-  
ned Prestressed Concrete Beams, Magazine of Con-  
crete Research, S. 115-122, November 1958
- /25/ Kamerling, J.W.; Kuyt, B.  
Über die Berechnung der Schubtragfähigkeit von  
Stahlbeton- und Spannbetonbalken, Beton- und  
Stahlbeton, S. 193-201, August 1976
- /26/ Kani, G.N.J.  
How Safe Are Our Large Reinforced Concrete Beams,  
ACI-Journal, S.128-141, März 1967
- /27/ Kani, G.N.J.  
A Rational Theory for the Function of Web Rein-  
forcement, ACI-Journal, S. 185-197, März 1969
- /28/ Kani, G.N.J.  
Basic facts concerning shear Failure, ACI-Journal  
64, No. 6, S. 675-692, 1966
- /29/ Kar, J.N.  
Shear Strength of Prestressed Concrete Beams  
without Web Reinforcement, Magazine of Concrete  
Research, Vol. 21, No. 68, S. 159-170, Septem-  
ber 1969

/30/ Kordina, K.; Weber, V.

Einfluß der Ausbildung unbewehrter Preßfugen auf die Tragfähigkeit von schrägen Druckstreben in den Stegen von Segmentbauteilen, Heft 350 der Schriftenreihe des DAfStb, 1984

/31/ Kordina, K.; Teutsch, M.

Schubversuche an Spannbetonbalken, Forschungsbericht des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig, in Vorbereitung

/32/ Krefeld, W.J.; Thurston, C.W.

Studies of the Shear and Diagonal Tension Strength of Simply Supported Reinforced Concrete Beams, ACI-Journal, S. 451-474, April 1966

/33/ Kupfer, H.

Erweiterung der Mörsch'schen Fachwerkanalogie mit Hilfe des Prinzips vom Minimum der Formänderungsarbeit, Comite European du Beton, Bulletin d'Information No. 40, Januar 1964

/34/ Leksukhum, K.; Smith, R.B.L.

Comparative Study of Bent-up Bars with other Forms of Secondary Reinforced Beams, ACI-Journal, 68-5, S. 32-35, Januar 1971

/35/ Leonhardt, F.; Walther, R.; Dilger, W.

Schubversuche an Durchlaufträgern, Heft 163 der Schriftenreihe DAfStb, 1964

/36/ Leonhardt, F.

Vorlesungen über Massivbau, Teil 1-6, Springer Verlag Berlin

/37/ Leonhardt, F.; Schelling, G.

Torsionsversuche an Stahlbetonbalken, Heft 239 der Schriftenreihe des DAfStb, Berlin 1974

- /38/ Leonhardt, F.; Walther, R.  
Schubversuche an einfeldrigen Stahlbetonbalken mit und ohne Schubbewehrung, Heft 151 der Schriftenreihe des DAfStb, 1962
- /39/ Leonhardt, F.  
Schub bei Stahlbeton und Spannbeton - Grundlagen der neueren Schubbemessung, Beton- und Stahlbetonbau, S. 270-277, 295-302, November 1977
- /40/ Leonhardt, F.; Koch, R.; Rostásy, F.S.  
Schubversuche an Spannbetonträgern, Heft 227 der Schriftenreihe des DAfStb, 1973
- /41/ Leonhardt, F.; Walther, R.  
Schubversuche an Plattenbalken mit unterschiedlicher Schubbewehrung, Heft 156 der Schriftenreihe des DAfStb, 1963
- /42/ Losberg, A.  
Influence of Prestressed Reinforcement on Shear Capacity of Beams in Plastic Design - Preliminary Report from a Current Research Projekt, Chalmers Techniska Högskola, Intern Skrift 80:6, 1980
- /43/ Lyngberg, B.S.  
Ultimate Shear Resistance of Partially Prestressed Reinforced Concrete I-Beams, ACI-Journal, S. 214-222, April 1976
- /44/ Mallée, R.  
Zum Schubtragverhalten stabförmiger Stahlbetonelemente, Heft 323 der Schriftenreihe des DAfStb, 1981
- /45/ Mattock, A.H.; Wang, Z.  
Shear Strength of Reinforced Concrete Members Subject to High Axial Compressive Stress, ACI-

Journal, S S. 287-298, 1984

/46/ Moayer, M.; Regan, P.E.

Shear Strength of Prestressed and Reinforced Concrete T-Beams, ACI -Publication SP 42, S. 183 - 213, 1974

/47/ Moosecker, W.

Zur Bemessung der Schubbewehrung von Stahlbetonbalken mit möglichst gleichmäßiger Zuverlässigkeit, Heft 307 der Schriftenreihe des DAfStb, 1979

/48/ Mörsch, E.

Der Eisenbetonbau, Seine Theorie und Anwendung, Verlag K. Wittwer, Berlin 1908

/49/ Nielsen, M.P.; Braestrup, M.W.

Shear Strength of Prestressed Concrete Beams without Web Reinforcement, Magazine of Concrete Research, Vol. 30, No. 104, S. 119-128, September 1978

/50/ Nielsen, M.P.

Plasticity and Shear, CEB-Bulletin Nr. 126, Shear and Torsion, Juni 1978

/51/ Oleson, S.O.; Sozen, M.A.; Siess, C.P.

Strength in Shear of Beams with Web Reinforcement, Bulletin No. 493, Engineering Experiment Station University of Illinois, Urbana 1967

/52/ Palaska, M. N.; Attiogbe, E. K.; Darwin, D.

Shear Strength of Lightly Reinforced T-Beams, ACI-Journal 78-39, S.447-455, 1971

- /53/ Placas, A.; Regan, P.E.  
Shear Failure of Reinforced Concrete Beams, ACI-Journal, S. S. 763-773, Oktober 1971
- /54/ Rafla, K.; Blume, F.; Iványi, G.; Kordina, K.  
Systematische Auswertung von Schubversuchen an Stahlbetonbalken, Forschungsbericht des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, 1977
- /55/ Rangan, B.V.  
Shear Strength of Partially and Fully Prestressed Concrete Beams, UNICIV-Report No. R-180, University of New South Wales, February 1979
- /56/ Regan, P.E.; Placas, A.  
Limit-State Design for Shear in Rectangular and T-Beams, Magazine of Concrete Research, Vol. 22, No. 73, S. 197-208, Dezember 1970
- /57/ Ritter, W.  
Die Bauweise Hennebique, Schweizerische Bauzeitung, Februar 1899
- /58/ Robinson, J.R.; Demorieux, J.M.  
Essais de Traction-Compression sur Modèles d'Ame de Poutre en Beton, Institute du Recherches Appliquees du Beton Arme (IRABA), Teil I, Juni 1968; Teil II, Mai 1972
- /59/ Schlaich, J.; Schäfer, K.  
Zur Druck-Querzug-Festigkeit des Stahlbetons, Beton- und Stahlbetonbau 78, S.73-77, 1983
- /60/ Soerensen, H. C.  
Shear Tests on 12 Reinforced Concrete T-Beams, Rapport Nr. R 60, Structural Research Laboratory, Techn. University of Denmark, 1974

- /61/ Sozen, M.A.; Zwoyer, E.M.; Siess, C.P.  
Strength in Shear of Beams without Web-Reinforcement, Bulletin No. 452, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana, 1959
- /62/ Taylor, H. P. J.  
Shear Strength of large Beams, Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 98, No. St 11, S.2473 -2490, 1972
- /63/ Taylor, R.  
Some Shear Tests on Reinforced Concrete T-Beams with Stirrups, Magazine of Concrete Research, S. 221-230, Dezember 1966
- /64/ Thürlimann, B.; Bachmann, H.; Krauss, R.; Cafilisch, R.; Heimgartner, E.  
Schubversuche an teilweise vorgespannten Balken, Institut für Baustatik ETH Zürich, Berichte Nr. 6504-2; 6504-3; 6504-5; 6504-6
- /65/ Vecchio, F.; Collins, M.P.  
The Response of Reinforced Concrete to In-Plane Shear and Normal Stresses, University of Toronto, Dep. of Civil Eng., Publication Nr. 82-03, 1982
- /66/ Walraven, J.  
Shear in Elements without Shear Reinforcement, CEB-Bulletin Nr.146, München, April 1982
- /67/ Feddersen, B., Nielsen, M.P.  
Opbojet Spandarmering som Forskydningsarmering  
Department of Structural Engineering, Technical University of Denmark, Report No 160, 1983



A N H A N G

Leonhardt	$Q_U = Q_{\text{Beton}} + Q_{\text{Schubbew}}$ $Q_U \leq 0,9 \cdot h \cdot b_0 \cdot 0,3 \cdot \beta_w$ $M_0 = \text{Dekompressionsmoment}, M_R = \text{Biegerissmoment für } \sigma_{BZ} = 0,1 \beta_w^{2/3}, a = \text{Schubspannw.}$	$Q_{\text{Schubbew}} = 0,9 \cdot h \cdot b_0 \cdot \mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}}$ $Q_{\text{Beton}} = 0,7 (M_0 + M_R) / a$
Kammerling Kuyt	$Q_U = b_0 \cdot z \cdot (0,5 \cdot \mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}} \cdot \tau_0 \cdot \frac{z}{a})$ $Q_U = b_0 \cdot z \cdot \sqrt{\mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}} \cdot \tau_0}$ $Q_U \leq 0,71 \cdot b_0 \cdot z \cdot \sqrt{\mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}} \cdot \beta_p}$	für $\frac{Q}{z} \leq \sqrt{2 \tau_0 / \mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}}}$ für $\frac{Q}{z} > \sqrt{2 \tau_0 / \mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}}}$ $\tau_0 = \sigma_v \cdot \frac{Q}{z} \cdot \sqrt{(0,5 \cdot \sigma_v)^2 + 39,2 \cdot \mu_L \cdot \beta_p}$
Losberg Hedman	$Q_U = (Q_{\text{Beton}} + Q_{\text{Schubbew}}) \cdot (1 + \frac{M_0}{M_U})$ $Q_U \leq 0,3 \beta_p \cdot b_0 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$ mit: $M_0 = \text{Dekompressionsmoment}, M_U = \text{Biegebruchmoment}, \tau_{Rd} \approx 0,05 \beta_p^{2/3}$	$Q_{\text{Beton}} = \tau_{Rd} (1,6 - h) (1 + 50 \mu_L) b_0 \cdot d$ $Q_{\text{Schubbew}} = 0,9 \cdot h \cdot b_0 \cdot \mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}} (1 + \cot \alpha) \sin \alpha$
Nielsen Braestrup et al.	$Q_U = 0,85 \cdot h \cdot b_0 \cdot \sqrt{\mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}} (0,76 \cdot \beta_p \cdot \mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}})}$ $Q_U = 0,85 \cdot h \cdot b_0 \cdot 0,38 \cdot \beta_p$	für $\mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}} / \beta_p \leq 0,38$ für $\mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}} / \beta_p > 0,38$
Rangan	$Q_U = Q_{\text{Beton}} + Q_{\text{Schubbew}}$	$Q_{\text{Schubbew}} = \mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}} \cdot b_0 \cdot d$ $Q_{\text{Beton}} = v_c \cdot b \cdot d \cdot \frac{2 \sigma_{bv} \cdot l / d}{a / h - d / 2}$ $v_c = \frac{\beta_p \cdot (\sqrt{1 + 5 \beta} - 1)}{6 \beta}$ mit $\beta = \frac{\beta_p}{6,9 \mu_L}$
Herzog	$Q_U = \mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}} \cdot b_0 \cdot z \cdot \frac{S}{1 + 14 \mu_{b\ddot{u}} \cdot \beta_{s,b\ddot{u}} / \beta_p} \cdot (1 + \frac{\sigma_y}{\beta_p})$ $\sigma_v = \frac{N_v}{A_b}$	

**TABELLE A1/1:** Gleichungen zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit bei Spannbetonbalken

Placas Regan	<p>Biegeschubversagen: <math>Q_u = 1,473 \cdot b \cdot h \cdot \sqrt[3]{(\mu_L \cdot \beta_p)^{2/3} \cdot \frac{b}{b_0} \cdot \frac{h}{a} \cdot \mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu}}</math></p> <p>Schubzugbruch Rechtbalken: <math>Q_u = 1,5 \cdot b_0 \cdot h \cdot \mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} + 0,453 \sqrt[3]{\mu_L \cdot \frac{h}{a} \cdot \beta_p} \cdot b_0 \cdot h</math></p> <p>Schubzugbruch Plattenbalken: <math>Q_u = 2(h-d_0) \cdot b_0 \cdot \mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} + 0,906 \sqrt[3]{\beta_p} \cdot d_0 (b_0 + 0,15)</math></p> <p>Druckstrebenbruch: <math>Q_u = 1,04 \cdot b_0 \cdot h \cdot \sqrt{\beta_p} \cdot (1 + \frac{0,75}{\tan \alpha}) (1 + 20 \cdot \mu_{bu})</math></p>
Haddadin Hong Mattock	<p><math>Q_u = b_0 \cdot h (0,16 \beta_p + 17,5 \cdot \mu_L \cdot \frac{h}{a} + 1,75 \cdot \mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu})</math> für <math>\mu_{bu} \leq 0,06 \beta_p \sqrt{\frac{b \cdot h}{b_0 \cdot a}}</math></p> <p><math>Q_u = b_0 \cdot h (0,16 \beta_p + 17,5 \cdot \mu_L \cdot \frac{h}{a} + 0,5 \cdot \mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} + 0,075 \beta_p \sqrt{\frac{b \cdot h}{b_0 \cdot a}})</math> für <math>\mu_{bu} \geq 0,06 \beta_p \sqrt{\frac{b \cdot h}{b_0 \cdot a}}</math></p> <p>Druckstrebenbruch <math>Q_u \leq b_0 \cdot h (0,84 \sqrt{\beta_p} + 1,75 \cdot \mu_L \cdot \frac{h}{a})</math></p>
Leonhardt	<p><math>Q_u = Q_{Beton} + Q_{Schubbew.}</math> mit: <math>Q_{Beton} = 0,9 \cdot h \cdot b_0 \cdot 0,158 \beta_w^{2/3}</math></p> <p><math>Q_u \leq 0,9 h \cdot b_0 \cdot 0,3 \cdot \beta_w</math> <math>Q_{Schubbew.} = 0,9 \cdot h \cdot b_0 \cdot \mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu}</math></p>
Kammerling Kuyt	<p><math>Q_u = b_0 \cdot z [0,5 \mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} \cdot \frac{z}{a} + 6,26 \sqrt{\mu_L \cdot \beta_p} \cdot \frac{z}{a}]</math> für <math>\frac{a}{z} \leq 11,2 \sqrt{\frac{\mu_L \cdot \beta_p}{\mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu}}}</math></p> <p><math>Q_u = b_0 \cdot z \cdot 3,54 \sqrt{\mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} \cdot \sqrt{\mu_L \cdot \beta_p}}</math> für <math>\frac{a}{z} \geq 11,2 \sqrt{\frac{\mu_L \cdot \beta_p}{\mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu}}}</math></p> <p><math>Q_u \leq b_0 \cdot z \cdot 0,71 \sqrt{\mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} \cdot \beta_p}</math></p>
Kordina, Iványi Rafila, Blume	<p><math>Q_u = \frac{7}{8} b_0 \cdot h (\tau_{Beton} + \tau_{Schubbew.})</math> mit: <math>\tau_{Beton} = f(\beta_w, \mu_L, h, \frac{a}{h})</math></p> <p><math>Q_u \leq \frac{7}{8} b_0 \cdot h \cdot 0,22 \beta_w</math> <math>\tau_{Schubbew.} = f(\mu_{bu}, \beta_{s,bu}, h, \frac{a}{h}, \frac{a_{bw}}{h})</math></p>
Losberg Hedman	<p><math>Q_u = Q_{Beton} + Q_{Schubbew.}</math> <math>Q_{Beton} = \tau_{Rd} \cdot (1,6 - h) (1 + 50 \mu_L) b_0 \cdot d</math> mit <math>\tau_{Rd} \approx 0,05 \beta_p^{2/3}</math></p> <p><math>Q_u \leq 0,3 \beta_p \cdot b_0 \cdot d (1 + \cot \alpha)</math> <math>Q_{Schubbew.} = 0,9 h \cdot b_0 \cdot \mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} (1 + \cot \alpha) \sin \alpha</math></p>
Nielsen Braestrup et d.	<p><math>Q_u = 0,85 \cdot h \cdot b_0 \sqrt{\mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} (0,72 \cdot \beta_p + \mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu})}</math> für <math>\mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} / \beta_p \leq 0,36</math></p> <p><math>Q_u = 0,85 \cdot h \cdot b_0 \cdot 0,36 \cdot \beta_p</math> für <math>\mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} / \beta_p &gt; 0,36</math></p>
Moosecker	<p><math>Q_u = 2 \cdot b_0 \cdot z \cdot \mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu}</math> für <math>Q_u \leq b_0 \cdot z \cdot 0,2 \cdot \beta_p</math></p> <p><math>Q_u = b_0 \cdot h (\mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} + 0,1 \cdot \beta_p)</math> für <math>Q_u &gt; b_0 \cdot z \cdot 0,2 \cdot \beta_p</math></p> <p><math>Q_u \leq b_0 \cdot z \cdot 0,3 \cdot \beta_p</math></p>
Mallée	<p><math>Q_u = b_0 \cdot z (\mu_{bu} \cdot \beta_{s,bu} + \Delta \tau)</math> <math>K_\lambda = 1 + \frac{1,5 h}{a}</math> <math>K_2 = \mu_L^{0,2}</math></p> <p><math>\Delta \tau = 0,145 \cdot K_\lambda \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5</math> <math>K_Q = 1,0</math> für <math>b/b_0 \geq 2,0</math> <math>K_3 = \beta_w^{0,4}</math></p> <p><math>K_Q = 0,85</math> für <math>b/b_0 = 1,0</math> <math>K_4 = (1/h)^{0,5}</math></p> <p><math>K_1 = (\frac{1}{1 + \mu_{bu}})^{1,5}</math></p>

**TABELLE A1/2:** Gleichungen zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit bei Stahlbetonbalken

Nr.	Autor	Bez.	b <sub>0</sub>	d	b	d <sub>0</sub>	h <sub>s</sub>	h <sub>v</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>v</sub>	N <sub>VO</sub>	β <sub>p</sub>	a/h	u <sub>bü</sub>	β <sub>s,bü</sub>	Q <sub>u,Test</sub>
			m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MN	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>	MN
1	Leonhardt	IP2	0.300	0.900	0.999	0.175	0.825	0.825	336.	2806.	0.899	20.4	3.939	0.540	420.0	0.9720
2	Koch	IP3	0.300	0.900	0.999	0.175	0.825	0.825	336.	2806.	0.171	27.4	3.939	0.540	420.0	0.8940
3	Rostásy	TG1	0.300	0.900	0.999	0.175	0.850	0.825	56.	2806.	1.649	28.8	3.939	0.110	420.0	0.9000
4	/40/	TVP2	0.150	0.970	0.999	0.175	0.895	0.840	168.	2806.	1.697	24.6	3.869	0.970	420.0	0.7450
5		TVP4	0.080	0.900	0.999	0.175	0.825	0.825	140.	2806.	1.596	44.2	3.939	2.320	420.0	0.8830
6	Thürlimann	A0	0.100	0.550	0.580	0.080	0.505	0.505	2427.	0.	0.000	27.0	2.970	0.592	425.0	0.2770
8	u.a.	B0L	0.100	0.550	0.580	0.080	0.520	0.504	101.	575.	0.547	31.9	2.976	0.389	505.0	0.2850
9	/ 64/	B1R	0.100	0.550	0.580	0.080	0.520	0.514	1242.	287.	0.292	27.5	2.918	0.505	414.0	0.2580
10		B2R	0.100	0.550	0.580	0.115	0.506	0.506	1234.	287.	0.298	27.0	2.964	0.505	414.0	0.2840
11		B2L	0.100	0.550	0.580	0.115	0.506	0.506	1234.	287.	0.292	27.0	2.964	0.530	481.0	0.3085
12		B5R	0.100	0.550	0.580	0.185	0.520	0.505	1242.	287.	0.295	31.0	2.970	0.297	494.0	0.2599
13		C1L	0.100	0.550	0.580	0.080	0.496	0.496	1211.	400.	0.446	36.8	3.024	0.489	485.0	0.3450
14		C1R	0.100	0.550	0.580	0.080	0.496	0.496	1211.	400.	0.446	36.8	3.024	0.500	537.0	0.3120
15		C2L	0.100	0.550	0.580	0.080	0.496	0.496	1191.	400.	0.445	35.8	3.024	0.489	485.0	0.3640
16		C2R	0.100	0.550	0.580	0.080	0.496	0.496	1191.	400.	0.445	35.8	3.024	0.518	524.0	0.3450
17		C3R	0.100	0.550	0.580	0.115	0.500	0.500	1258.	400.	0.434	39.7	3.000	0.343	518.0	0.2800
18		C3L	0.100	0.550	0.580	0.115	0.500	0.500	1258.	400.	0.434	39.7	3.000	0.306	527.0	0.3242
19		C4R	0.100	0.550	0.300	0.115	0.496	0.496	1191.	400.	0.447	37.2	3.024	0.345	524.0	0.3120
20		D1L	0.140	0.550	0.620	0.080	0.517	0.489	300.	802.	0.772	36.8	3.067	0.169	504.0	0.3780
21		D1R	0.140	0.550	0.620	0.080	0.517	0.489	300.	802.	0.772	36.8	3.067	0.169	504.0	0.4240
22		D2L	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.494	1810.	602.	0.597	36.8	3.036	0.169	504.0	0.5250
23		D2R	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.494	1810.	602.	0.597	36.8	3.036	0.169	504.0	0.4100
24		D4L	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.494	1810.	602.	0.574	36.8	3.036	0.169	504.0	0.3262
25		D4R	0.140	0.550	0.620	0.080	0.517	0.494	300.	602.	0.574	36.8	3.036	0.169	504.0	0.3180
26		D5L	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.499	1810.	401.	0.393	41.2	3.006	0.169	504.0	0.4170
27		D5R	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.499	1810.	401.	0.393	41.2	3.006	0.169	504.0	0.3510
28		D6L	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.499	1810.	401.	0.385	34.3	3.006	0.169	504.0	0.3420
29		D6R	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.499	1810.	401.	0.385	34.3	3.006	0.160	504.0	0.2840
30		A0LL	0.100	0.550	0.580	0.080	0.505	0.505	2524.	0.	0.000	32.9	2.970	0.900	537.0	0.3520
31		B1LL	0.100	0.550	0.580	0.080	0.504	0.504	1211.	285.	0.298	29.4	2.976	0.500	525.0	0.3400
32		B1LR	0.100	0.550	0.580	0.080	0.514	0.514	1211.	285.	0.298	29.4	2.918	0.500	525.0	0.3340
33	Bennett	4A1	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.348	37.3	4.000	3.270	280.0	0.0698
34	Balasoorya	3A2	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.331	41.7	3.000	3.270	280.0	0.0698
35	/ 6/	2A3	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.339	33.8	2.000	3.270	280.0	0.0811
36		2B2	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.286	43.0	2.000	3.270	280.0	0.1003
37		2B3	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.206	43.9	2.000	3.270	280.0	0.1021
38		2B4	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.148	38.1	2.000	3.270	280.0	0.0792
39		2B5	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.045	39.0	2.000	3.270	280.0	0.0758
40		2B6	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.000	44.6	2.000	3.270	280.0	0.0724
41		3C2	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.279	33.2	3.000	3.270	280.0	0.0758
42		3C3	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.198	33.7	3.000	3.270	280.0	0.0788
43		3C4	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.146	30.5	3.000	3.270	280.0	0.0564
44		3C6	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.000	30.6	3.000	3.270	280.0	0.0565
45		3D1	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.276	44.3	3.000	4.900	280.0	0.0858
46		3D2	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.285	44.3	3.000	3.270	280.0	0.0768
47		3D3	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.267	40.3	3.000	2.180	280.0	0.0701
48		3D4	0.025	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.273	39.4	3.000	1.630	280.0	0.0611
49		3E2	0.031	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.274	43.7	3.000	2.240	280.0	0.0886
50		3E3	0.038	0.254	0.153	0.057	0.225	0.225	62.	385.	0.228	40.8	3.000	2.180	280.0	0.0900
51		2F1	0.025	0.457	0.203	0.070	0.422	0.422	62.	461.	0.428	39.2	2.000	2.800	280.0	0.1514
52		2F2	0.025	0.457	0.203	0.070	0.422	0.422	62.	461.	0.366	39.2	2.000	2.800	280.0	0.1483
53		2F3	0.025	0.457	0.203	0.070	0.422	0.422	62.	461.	0.260	39.2	2.000	2.800	280.0	0.1321
54		2F4	0.025	0.457	0.203	0.070	0.422	0.422	62.	461.	0.098	40.0	2.000	2.800	280.0	0.1214
55		2F5	0.032	0.457	0.203	0.070	0.422	0.422	62.	461.	0.000	38.1	2.000	2.240	280.0	0.1363
56	Lyngberg	2A3	0.120	0.600	0.700	0.095	0.540	0.540	616.	678.	0.631	32.6	2.778	0.530	616.0	0.5060
57	/43/	2B3	0.120	0.600	0.700	0.095	0.540	0.540	616.	678.	0.629	33.9	2.778	0.530	643.0	0.5150
58		3A2	0.120	0.600	0.700	0.095	0.540	0.540	1232.	452.	0.421	31.1	2.778	0.530	663.0	0.4890
59		3B2	0.120	0.600	0.700	0.095	0.540	0.540	1232.	452.	0.421	27.5	2.778	0.530	625.0	0.4330
60		4A1	0.120	0.600	0.700	0.095	0.540	0.540	1873.	226.	0.217	31.5	2.778	0.530	639.0	0.4690
61		4B1	0.120	0.600	0.700	0.095	0.540	0.540	1873.	226.	0.209	30.4	2.778	0.530	658.0	0.4540
62		5A0	0.120	0.600	0.700	0.095	0.540	0.540	2515.	0.	0.000	25.7	2.778	0.530	674.0	0.4350
63		5B0	0.120	0.600	0.700	0.095	0.540	0.540	2515.	0.	0.000	26.6	2.778	0.530	647.0	0.4350

# ANLAGE A2/1: Daten der Schubversuche an Spannbeton- balken mit Schubbewehrung

Nr.	Autor	Bez.	b <sub>0</sub>	d	b	d <sub>0</sub>	h <sub>s</sub>	h <sub>v</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>v</sub>	N <sub>VO</sub>	β <sub>p</sub>	a/h	μ <sub>bü</sub>	β <sub>s,bü</sub>	Q <sub>u,Test</sub>
			m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MN	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>	MN
64	Hanson	FX1A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.407	45.8	2.871	0.200	410.0	0.1674
65	Hulsbos	FX1B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.407	45.8	2.871	0.200	410.0	0.1425
66	/21/	F1A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.410	47.0	1.793	0.730	362.0	0.2877
67		F2A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.383	45.2	2.391	0.310	410.0	0.2137
68		F2B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.383	45.2	2.391	0.200	410.0	0.1781
69		F3A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.390	47.2	2.391	0.550	362.0	0.2244
70		F3B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.390	47.2	2.391	0.230	252.0	0.1781
71		F4A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.420	43.6	2.988	0.250	410.0	0.1772
72		F4B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.420	43.6	2.988	0.190	410.0	0.1692
73		F5A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.386	44.2	2.988	0.310	410.0	0.1794
74		F5B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.386	44.2	2.988	0.220	252.0	0.1433
75		F6B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.391	43.0	5.976	0.130	252.0	0.0851
76		F7A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.416	45.6	3.586	0.210	410.0	0.1541
77		F7B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.416	45.6	3.586	0.160	410.0	0.1296
78		F8A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.406	47.4	3.586	0.260	410.0	0.1647
79		F8B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.406	47.4	3.586	0.150	252.0	0.1201
80		F9A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.398	45.9	5.369	0.280	252.0	0.1127
81		F9B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.398	45.9	5.379	0.150	252.0	0.1011
82		F10A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.406	48.6	4.184	0.260	252.0	0.1291
83		F10B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.406	48.6	4.184	0.130	252.0	0.1104
84		F11A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.389	41.6	4.184	0.180	410.0	0.1287
85		F11B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.389	41.6	4.184	0.110	253.0	0.1158
86		F12A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.370	44.8	4.781	0.230	253.0	0.1113
87		F12B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.370	44.8	4.781	0.110	253.0	0.1024
88		F13A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.406	44.5	4.781	0.290	253.0	0.1024
89		F13B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.406	44.5	4.781	0.160	253.0	0.1082
90		F14A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.406	46.6	5.379	0.200	253.0	0.1024
91		F14B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.406	44.6	5.379	0.100	253.0	0.0988
92		F15B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.350	39.9	5.976	0.090	253.0	0.0757
93		F16B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.396	46.2	6.574	0.120	253.0	0.0855
94		F19A	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.399	51.1	2.988	0.320	410.0	0.1781
95		F19B	0.076	0.457	0.229	0.102	0.000	0.425	0.	666.	0.399	51.1	2.988	0.250	410.0	0.1763
96	Oleson	BW1434	0.074	0.305	0.150	0.074	0.000	0.257	0.	153.	0.129	23.8	3.556	0.125	234.0	0.0574
97	Sozen	BW1439	0.074	0.305	0.150	0.074	0.000	0.257	0.	156.	0.129	21.5	3.556	0.191	246.0	0.0588
98	Siess	BW2320	0.078	0.305	0.150	0.074	0.000	0.270	0.	184.	0.000	44.8	2.822	0.250	266.0	0.0663
99	/51/	BW2321	0.078	0.305	0.150	0.074	0.000	0.270	0.	184.	0.000	46.9	2.822	0.344	266.0	0.0739
100		BW2322	0.078	0.305	0.150	0.074	0.000	0.270	0.	184.	0.000	47.2	2.822	0.479	254.0	0.0824
101		BW2520	0.078	0.305	0.150	0.074	0.000	0.270	0.	184.	0.000	42.6	4.233	0.250	266.0	0.0548
102		BW2621	0.074	0.305	0.152	0.074	0.000	0.268	0.	184.	0.108	46.4	5.687	0.125	266.0	0.0586
103	Cederwall	14	0.130	0.260	0.000	0.000	0.234	0.234	113.	226.	0.113	30.8	2.564	0.218	500.0	0.0902
104	Hedman	15	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	226.	226.	0.069	49.4	2.564	0.218	500.0	0.1162
105	Losberg	16	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	226.	226.	0.124	30.3	2.564	0.218	500.0	0.1164
106	/12/	17	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	226.	226.	0.083	18.7	2.564	0.435	500.0	0.0883
107		18	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	113.	226.	0.103	33.9	2.564	0.218	220.0	0.0755
108		19	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	113.	226.	0.092	29.2	2.564	0.218	220.0	0.0849
109	Cederwall	842-6	0.131	0.260	0.000	0.000	0.236	0.236	452.	226.	0.120	54.8	2.542	0.216	550.0	0.1310
110	Hedman	842-7B	0.131	0.260	0.000	0.000	0.235	0.235	452.	226.	0.126	42.4	2.553	0.216	550.0	0.1294
111	Losberg	842-8	0.132	0.260	0.000	0.000	0.236	0.236	452.	226.	0.134	66.8	2.542	0.288	550.0	0.1603
112	/11/	842-10	0.131	0.260	0.000	0.000	0.235	0.235	452.	226.	0.118	60.3	2.553	0.216	360.0	0.1074
113		842-11	0.131	0.260	0.000	0.000	0.236	0.236	452.	226.	0.118	60.0	4.237	0.216	360.0	0.0912
114		842-13	0.132	0.260	0.000	0.000	0.238	0.238	452.	226.	0.107	63.5	3.361	0.216	360.0	0.1221
115		842-14	0.132	0.260	0.000	0.000	0.236	0.236	452.	226.	0.041	48.5	2.542	0.216	550.0	0.1089
116		842-14	0.132	0.260	0.000	0.000	0.233	0.233	452.	226.	0.071	61.3	2.575	0.216	550.0	0.1574
117	Moayer	P8	0.150	0.320	0.600	0.080	0.287	0.272	396.	388.	0.330	42.7	3.640	0.210	310.0	0.1785
118	Regan	P9	0.150	0.320	0.600	0.080	0.272	0.272	396.	388.	0.330	40.4	5.515	0.140	310.0	0.1202
119	/46/	P13	0.150	0.320	0.600	0.080	0.282	0.282	396.	194.	0.169	39.4	3.511	0.210	310.0	0.1402
120		P18	0.150	0.320	0.600	0.080	0.269	0.269	198.	388.	0.330	44.4	3.680	0.210	310.0	0.1603
121		P19	0.150	0.320	0.600	0.080	0.269	0.269	198.	388.	0.330	45.4	5.576	0.140	310.0	0.1091

ANLAGE A2/1: (Fortsetzung)

Nr.	Autor	Bez.	b <sub>0</sub>	d	b	d <sub>0</sub>	n <sub>s</sub>	n <sub>v</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>v</sub>	N <sub>vo</sub>	β <sub>p</sub>	a/h	u <sub>bu</sub>	β <sub>s, bu</sub>	Q <sub>u, Test</sub>
			m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MM	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>	MM
122		P24	0.150	0.320	0.600	0.080	0.282	0.282	396.	194.	0.169	43.4	3.511	0.420	255.0	0.1478
123		P28	0.150	0.320	0.600	0.080	0.272	0.272	396.	388.	0.330	44.9	3.640	0.420	255.0	0.1941
124		P29	0.150	0.320	0.600	0.080	0.272	0.272	396.	388.	0.330	46.5	5.515	0.280	255.0	0.1349
125		P49	0.150	0.320	0.600	0.080	0.274	0.274	198.	388.	0.329	37.8	3.613	0.420	255.0	0.1901
126		P50	0.150	0.320	0.600	0.080	0.274	0.274	198.	388.	0.329	41.2	3.613	0.700	282.0	0.2302
127	Bennett	NM6160	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.180	34.4	3.020	0.352	420.0	0.0935
128	Debaiky	NM6160	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.179	34.9	3.020	0.322	545.0	0.1050
129	/5/	NL680	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.179	35.8	3.020	0.777	280.0	0.1064
130		NM680	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.178	33.4	3.020	0.704	420.0	0.1060
131		NM680	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.178	34.9	3.020	0.644	545.0	0.1140
132		NM8240	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.178	31.7	3.020	0.413	420.0	0.0800
133		NM8160	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.178	36.8	3.020	0.620	420.0	0.0930
134		NL10240	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.177	35.4	3.020	0.580	280.0	0.0935
135		NM10240	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.179	36.5	3.020	0.645	420.0	0.0958
136		NL10160	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.179	34.6	3.020	0.875	280.0	0.1025
137		NM10160	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	221.	0.180	34.4	3.020	0.970	420.0	0.1025
138		PM6240	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.253	38.8	3.020	0.235	420.0	0.0845
139		PM6240	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.251	37.8	3.020	0.215	545.0	0.0810
140		PM6160	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.257	38.0	3.020	0.352	420.0	0.0960
141		PM6160	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.252	36.3	3.020	0.322	545.0	0.0935
142		PL680	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.256	39.4	3.020	0.770	280.0	0.1060
143		PM680	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.247	39.4	3.020	0.704	420.0	0.1045
144		PM680	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.255	36.7	3.020	0.644	545.0	0.1025
145		CM6240	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.181	51.2	3.020	0.235	420.0	0.1000
146		CH6240	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.179	52.0	3.020	0.215	545.0	0.1025
147		CL6160	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.179	52.8	3.020	0.385	280.0	0.1025
148		CM6160	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.177	55.1	3.020	0.352	420.0	0.1115
149		CH6160	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.179	53.4	3.020	0.322	545.0	0.1120
150		CL680	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.180	54.3	3.020	0.720	280.0	0.1116
151		CM680	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.181	53.5	3.020	0.704	420.0	0.1260
152		CH680	0.051	0.330	0.152	0.057	0.298	0.298	314.	231.	0.182	50.3	3.020	0.644	545.0	0.1400
153	Kordina Weber /30/	DL	0.100	0.740	0.600	0.120	0.680	0.680	351.	1655.	0.937	18.7	2.941	1.816	464.0	0.3375
154	Kordina	S811	0.100	0.740	0.600	0.120	0.680	0.680	0.	1656.	0.830	47.0	2.941	0.330	506.0	0.3500
155	Teutsch /31/	S813	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	0.	1656.	0.830	47.0	2.941	0.188	469.0	0.3475
156		S821	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	0.	1647.	0.852	44.0	2.941	0.566	506.0	0.4450
157		S823	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	0.	1647.	0.852	44.0	2.941	0.377	469.0	0.3970
158		S831	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	0.	2460.	1.185	49.0	2.941	0.500	506.0	0.4500
159		S833	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	0.	2460.	1.185	49.0	2.941	0.188	469.0	0.3690
160		S841	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	0.	2445.	1.201	47.0	2.941	0.785	517.0	0.6270
161		S842	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	0.	2445.	1.201	47.0	2.941	0.753	517.0	0.6125
162		S851	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	904.	1638.	0.889	44.0	2.941	0.670	430.0	0.4750
163		S852	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	904.	1638.	0.889	44.0	2.941	1.005	430.0	0.6333
164		S853	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	904.	1638.	0.889	44.0	2.941	0.628	451.0	0.4950
165		S861	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	1100.	532.	0.305	46.0	2.941	0.280	466.0	0.2800
166		S862	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	1100.	532.	0.305	46.0	2.941	0.370	466.0	0.3830
167		S863	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	1100.	532.	0.305	46.0	2.941	0.220	466.0	0.2250
168		S871	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	157.	2176.	0.900	48.0	2.941	0.523	451.0	0.4500
169		S872	0.100	0.740	0.600	0.120	0.000	0.680	157.	2176.	0.900	48.0	2.941	0.628	451.0	0.5200
170	Mattock	30501	0.150	0.350	0.000	0.000	0.315	0.175	1232.	0.	0.109	26.5	5.400	0.236	361.0	0.1250
171	Wang /45/	30502	0.150	0.350	0.000	0.000	0.315	0.175	1232.	0.	0.218	26.5	5.400	0.236	361.0	0.1500
172		310011	0.150	0.350	0.000	0.000	0.315	0.175	1232.	0.	0.111	24.7	5.400	0.472	361.0	0.1800
173		310013	0.150	0.350	0.000	0.000	0.315	0.175	1232.	0.	0.333	24.7	5.400	0.472	361.0	0.1750
174		310021	0.150	0.350	0.000	0.000	0.315	0.175	1232.	0.	0.114	25.0	5.400	0.472	361.0	0.1700
175		310023	0.150	0.350	0.000	0.000	0.315	0.175	1232.	0.	0.340	25.0	5.400	0.472	361.0	0.1875
176	Feddersen	D1V	0.140	0.550	0.620	0.080	0.517	0.489	300.	802.	0.820	41.0	3.067	0.162	517.0	0.3850
177	Nielsen /67/	D1M	0.140	0.550	0.620	0.080	0.517	0.489	300.	802.	0.820	41.0	3.067	0.162	517.0	0.4300
178		D2V	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.494	1810.	602.	0.630	39.0	3.036	0.162	517.0	0.5450
179		D2M	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.494	1810.	602.	0.630	39.0	3.036	0.162	517.0	0.4250
180		D5V	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.499	1810.	401.	0.412	46.3	3.006	0.162	517.0	0.4250
181		D5M	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.499	1810.	401.	0.412	46.3	3.006	0.162	517.0	0.3550
182		D6V	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.499	1810.	401.	0.416	34.7	3.006	0.162	517.0	0.3500
183		D6M	0.140	0.550	0.620	0.080	0.501	0.499	1810.	401.	0.416	34.7	3.006	0.162	517.0	0.2800

ANLAGE A2/1: (Fortsetzung)

Nr.	Autor	Bez.	b <sub>0</sub>	d	b	d <sub>0</sub>	h <sub>s</sub>	h <sub>v</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>v</sub>	N <sub>vo</sub>	β <sub>p</sub>	a/h	μ <sub>bü</sub>	β <sub>s,bü</sub>	Q <sub>u,Test</sub>
			m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MN	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>	MN
1	Clark	A 1-1	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	24.5	2.344	0.379	330.0	0.2227
2	/13/	A 1-2	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	23.6	2.344	0.379	330.0	0.2094
3		A 1-3	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	23.3	2.344	0.379	330.0	0.2227
4		A 1-4	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	24.7	2.344	0.379	330.0	0.2450
5		B 1-1	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	23.3	1.954	0.369	330.0	0.2791
6		B 1-2	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	25.3	1.954	0.369	330.0	0.2569
7		B 1-3	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	23.6	1.954	0.369	330.0	0.2851
8		B 1-4	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	23.3	1.954	0.369	330.0	0.2684
9		B 1-5	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	24.5	1.954	0.369	330.0	0.2417
10		B 2-1	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	23.2	1.954	0.729	330.0	0.3014
11		B 2-2	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	26.2	1.954	0.729	330.0	0.3225
12		B 2-3	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	24.9	1.954	0.729	330.0	0.3352
13		B 6-1	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	42.1	1.954	0.369	330.0	0.3798
14		C 1-1	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	1638.	0.	0.000	25.5	1.564	0.339	330.0	0.2780
15		C 1-2	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	1638.	0.	0.000	26.2	1.564	0.339	330.0	0.3114
16		C 1-3	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	1638.	0.	0.000	23.9	1.564	0.339	330.0	0.2462
17		C 1-4	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	1638.	0.	0.000	29.0	1.564	0.339	330.0	0.2862
18		C 3-1	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	1638.	0.	0.000	14.0	1.564	0.339	330.0	0.2239
19		C 3-2	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	1638.	0.	0.000	13.7	1.564	0.339	330.0	0.2005
20		C 3-3	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	1638.	0.	0.000	13.9	1.564	0.339	330.0	0.1883
21		C 4-1	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	24.4	1.564	0.339	330.0	0.3096
22		C 6-2	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	45.1	1.564	0.339	330.0	0.4243
23		C 6-3	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	44.6	1.564	0.339	330.0	0.4354
24		C 6-4	0.203	0.457	0.000	0.000	0.390	0.000	2451.	0.	0.000	47.6	1.564	0.339	330.0	0.4291
25		D 1-6	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	27.6	1.949	0.459	330.0	0.1749
26		D 1-7	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	28.1	1.949	0.459	330.0	0.1794
27		D 1-8	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	27.8	1.949	0.459	330.0	0.1860
28		E 1-2	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	30.1	2.029	0.729	330.0	0.2220
29		D 2-6	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	30.4	2.435	0.609	330.0	0.1688
30		D 2-7	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	28.4	2.435	0.609	330.0	0.1575
31		D 2-8	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	26.0	2.435	0.609	330.0	0.1688
32		D 4-1	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	27.3	2.435	0.489	330.0	0.1688
33		D 4-2	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	25.6	2.435	0.489	330.0	0.1575
34		D 4-3	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	22.0	2.435	0.489	330.0	0.1652
35		D 5-1	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	27.7	2.435	0.369	330.0	0.1463
36		D 5-2	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	29.0	2.435	0.369	330.0	0.1575
37		D 5-3	0.152	0.381	0.000	0.000	0.313	0.000	1632.	0.	0.000	27.1	2.435	0.369	330.0	0.1575
38	Krefeld	26-1	0.254	0.508	0.000	0.000	0.455	0.000	2565.	0.	0.000	40.1	4.132	0.159	342.0	0.2076
39	Thurston	29A-2	0.254	0.508	0.000	0.000	0.455	0.000	2565.	0.	0.000	37.1	4.132	0.111	372.0	0.2168
40	/32/	29B-2	0.254	0.508	0.000	0.000	0.455	0.000	2565.	0.	0.000	41.3	4.132	0.111	372.0	0.2026
41		29C-2	0.254	0.508	0.000	0.000	0.455	0.000	2565.	0.	0.000	24.1	4.132	0.111	372.0	0.1616
42		29E-2	0.254	0.508	0.000	0.000	0.455	0.000	2565.	0.	0.000	48.6	4.132	0.111	372.0	0.2066
43		29F-2	0.254	0.508	0.000	0.000	0.455	0.000	2565.	0.	0.000	41.9	4.132	0.114	372.0	0.2346
44		29G-2	0.254	0.508	0.000	0.000	0.455	0.000	2565.	0.	0.000	15.7	4.132	0.111	372.0	0.1500
45		29-3	0.254	0.508	0.000	0.000	0.455	0.000	2565.	0.	0.000	34.2	4.132	0.111	237.0	0.1781
46		313.5-2	0.254	0.508	0.000	0.000	0.455	0.000	2565.	0.	0.000	39.6	4.132	0.165	352.0	0.2351
47		39-3	0.254	0.508	0.000	0.000	0.455	0.000	2565.	0.	0.000	42.7	4.132	0.242	275.0	0.2400
48		313.5-3	0.254	0.508	0.000	0.000	0.455	0.000	2565.	0.	0.000	42.7	4.132	0.162	275.0	0.2137
49	Placas	R 8	0.152	0.305	0.000	0.000	0.271	0.000	603.	0.	0.000	26.6	3.358	0.213	270.0	0.0797
50	Regan	R 10	0.152	0.305	0.000	0.000	0.271	0.000	405.	0.	0.000	29.4	3.358	0.213	270.0	0.0752
51	/53/	R 11	0.152	0.305	0.000	0.000	0.271	0.000	806.	0.	0.000	26.1	3.358	0.213	270.0	0.0895
52		R 12	0.152	0.305	0.000	0.000	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	34.0	3.597	0.213	270.0	0.1095
53		R 13	0.152	0.305	0.000	0.000	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	32.3	3.597	0.426	270.0	0.1496
54		R 14	0.152	0.305	0.000	0.000	0.271	0.000	603.	0.	0.000	29.0	3.358	0.142	270.0	0.0895
55		R 15	0.152	0.305	0.000	0.000	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	29.8	3.597	0.426	270.0	0.1398
56		R 16	0.152	0.305	0.000	0.000	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	31.6	3.597	0.426	270.0	0.1398
57		R 17	0.152	0.305	0.000	0.000	0.271	0.000	603.	0.	0.000	12.7	3.358	0.213	270.0	0.0699
58		R 20	0.152	0.305	0.000	0.000	0.271	0.000	603.	0.	0.000	42.9	3.358	0.213	270.0	0.0899
59		R 21	0.152	0.305	0.000	0.000	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	48.1	3.597	0.426	270.0	0.1496
60		R 22	0.152	0.305	0.000	0.000	0.271	0.000	603.	0.	0.000	29.5	4.498	0.213	270.0	0.0797
61		R 24	0.152	0.305	0.000	0.000	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	30.8	5.399	0.213	270.0	0.0921

# ANLAGE A2/2: Daten der Schubversuche an Stahlbeton- balken mit Schubbewehrung

Nr. Autor	Bez.	b <sub>0</sub>	d	b	d <sub>0</sub>	h <sub>s</sub>	h <sub>v</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>v</sub>	N <sub>VO</sub>	β <sub>p</sub>	a/h	μ <sub>bi</sub>	β <sub>s,bi</sub>	Q <sub>u,Test</sub>
		m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MN	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>	MN
62	R 25	0.152	0.305	0.000	0.000	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	30.7	3.597	0.213	270.0	0.1046
63	R 27	0.152	0.305	0.000	0.000	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	13.6	3.597	0.426	270.0	0.0948
64	R 28	0.152	0.305	0.000	0.000	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	31.6	3.597	0.832	270.0	0.1794
65 Leonhardt	E 2	0.190	0.320	0.000	0.000	0.270	0.000	1267.	0.	0.000	31.6	2.778	0.599	256.0	0.1825
66 Walther	E 3	0.190	0.320	0.000	0.000	0.270	0.000	1267.	0.	0.000	29.3	2.778	0.539	267.0	0.1825
67 /38/	E 5/2	0.190	0.320	0.000	0.000	0.270	0.000	1267.	0.	0.000	29.3	2.037	0.529	267.0	0.1672
68 Bresler	A-1	0.306	0.552	0.000	0.000	0.465	0.000	2569.	0.	0.000	24.0	4.043	0.099	325.0	0.2337
69 Scordelis	A-2	0.305	0.552	0.000	0.000	0.462	0.000	3219.	0.	0.000	24.2	4.946	0.099	325.0	0.2449
70 / 9/	B-1	0.230	0.552	0.000	0.000	0.460	0.000	2587.	0.	0.000	24.7	4.087	0.146	325.0	0.2226
71	B-2	0.228	0.552	0.000	0.000	0.465	0.000	2587.	0.	0.000	23.1	4.914	0.147	325.0	0.2003
72	C-1	0.155	0.552	0.000	0.000	0.462	0.000	1291.	0.	0.000	29.6	4.069	0.198	325.0	0.1558
73	C-2	0.151	0.552	0.000	0.000	0.463	0.000	2581.	0.	0.000	23.8	4.935	0.201	325.0	0.1625
74	XB-1	0.230	0.552	0.000	0.000	0.457	0.000	2581.	0.	0.000	24.5	4.000	0.160	344.0	0.2044
75	RA-1	0.305	0.552	0.000	0.000	0.457	0.000	2318.	0.	0.000	24.9	3.978	0.101	344.0	0.2042
76	RB-1	0.228	0.552	0.000	0.000	0.458	0.000	2333.	0.	0.000	24.5	3.978	0.148	344.0	0.2046
77	RC-1	0.155	0.552	0.000	0.000	0.458	0.000	1159.	0.	0.000	29.1	3.978	0.199	344.0	0.1405
78 Leksukhum	BI-1 B	0.202	0.300	0.000	0.000	0.243	0.000	1822.	0.	0.000	22.5	2.613	0.377	300.0	0.1650
79 Smith	BI-2 B	0.202	0.300	0.000	0.000	0.243	0.000	1822.	0.	0.000	25.2	2.654	0.423	300.0	0.1930
80 /34/	BI-3 B	0.202	0.300	0.000	0.000	0.243	0.000	1822.	0.	0.000	25.2	2.613	0.380	300.0	0.1960
81	BI-4 B	0.202	0.300	0.000	0.000	0.243	0.000	1822.	0.	0.000	25.9	2.716	0.423	300.0	0.2060
82	BI-5 B	0.202	0.300	0.000	0.000	0.243	0.000	1822.	0.	0.000	23.2	2.877	0.390	300.0	0.1960
83	BI-6 B	0.202	0.300	0.000	0.000	0.243	0.000	1822.	0.	0.000	25.0	2.901	0.413	300.0	0.2060
84	BI-7 B	0.202	0.300	0.000	0.000	0.243	0.000	1822.	0.	0.000	25.9	2.366	0.516	300.0	0.2700
85	BI-8 B	0.202	0.300	0.000	0.000	0.243	0.000	1822.	0.	0.000	21.5	2.366	0.477	300.0	0.1910
86	BI-9 B	0.202	0.300	0.000	0.000	0.243	0.000	1693.	0.	0.000	24.2	3.025	0.230	300.0	0.1520
87	BII-2 B	0.202	0.300	0.000	0.000	0.243	0.000	2233.	0.	0.000	21.5	2.757	0.467	300.0	0.2160
88	BII-3 B	0.202	0.300	0.000	0.000	0.243	0.000	2233.	0.	0.000	23.7	2.728	0.583	300.0	0.2260
89 Alatorre	A-2	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	25.7	2.206	0.155	245.0	0.0856
90 Casillas	A-3	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	24.4	2.206	0.309	245.0	0.0831
91 /1/	B-3	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	24.4	2.206	0.309	245.0	0.0914
92	A-5	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	24.7	2.206	0.155	245.0	0.0898
93	A-6	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	26.0	2.206	0.155	245.0	0.0786
94	B-6	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	26.0	2.206	0.155	245.0	0.0765
95	A-7	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	24.6	2.206	0.309	245.0	0.0964
96	B-7	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	24.6	2.206	0.309	245.0	0.1218
97	A-9	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	23.9	2.206	0.155	245.0	0.0552
98	B-9	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	23.9	2.206	0.155	245.0	0.0586
99	A-10	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	24.5	2.206	0.155	245.0	0.0661
100	B-10	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	22.0	2.206	0.155	245.0	0.0590
101	A-11	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	17.4	2.206	0.309	245.0	0.0914
102	B-11	0.120	0.380	0.000	0.000	0.340	0.000	570.	0.	0.000	17.4	2.206	0.309	245.0	0.0914
103 Cederwall	734-37	0.131	0.260	0.000	0.000	0.234	0.000	339.	0.	0.000	33.4	2.564	0.216	500.0	0.0747
104 Hedman	734-43	0.131	0.260	0.000	0.000	0.234	0.000	339.	0.	0.000	26.8	2.564	0.216	500.0	0.0731
105 Losberg	734-46	0.131	0.260	0.000	0.000	0.234	0.000	339.	0.	0.000	31.4	2.564	0.432	500.0	0.0956
106 /11/	734-18	0.131	0.260	0.000	0.000	0.236	0.000	678.	0.	0.000	44.0	2.542	0.216	500.0	0.1045
107 Guralnik	IA-1	0.178	0.387	0.585	0.101	0.300	0.000	1322.	0.	0.000	22.2	3.047	1.500	341.0	0.3380
108 /19/	IA-2	0.178	0.387	0.585	0.101	0.305	0.000	1322.	0.	0.000	18.0	3.000	0.361	529.0	0.1692
109	IB-1	0.178	0.387	0.585	0.101	0.300	0.000	774.	0.	0.000	16.8	3.047	1.500	341.0	0.3108
110	IB-2	0.178	0.387	0.585	0.101	0.307	0.000	773.	0.	0.000	16.8	2.967	0.361	529.0	0.1349
111	IC-2	0.178	0.387	0.585	0.101	0.309	0.000	2359.	0.	0.000	33.3	2.948	0.361	529.0	0.2591
112	ID-1	0.178	0.387	0.585	0.101	0.300	0.000	1345.	0.	0.000	33.3	3.047	1.500	341.0	0.4549
113	ID-2	0.178	0.387	0.585	0.101	0.306	0.000	1345.	0.	0.000	33.3	2.977	0.361	529.0	0.2605
114	IIC-1	0.178	0.387	0.585	0.101	0.298	0.000	2357.	0.	0.000	38.0	6.141	1.500	341.0	0.4061

ANLAGE A2/2: (Fortsetzung)



Nr.	Autor	Bez.	b <sub>0</sub>	d	b	d <sub>0</sub>	h <sub>s</sub>	h <sub>v</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>v</sub>	N <sub>vo</sub>	β <sub>p</sub>	a/h	μ <sub>bü</sub>	β <sub>s,bü</sub>	Q <sub>u,Test</sub>
			m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MN	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>	MN
115		IID-1	0.178	0.387	0.585	0.101	0.300	0.000	1386.	0.	0.000	38.0	6.100	1.500	341.0	0.3160
116		IID-2	0.178	0.387	0.585	0.101	0.306	0.000	1345.	0.	0.000	38.0	5.980	0.361	529.0	0.1833
117		IA-2R	0.178	0.387	0.585	0.101	0.305	0.000	1345.	0.	0.000	18.0	3.000	0.361	529.0	0.1674
118		IB-2R	0.178	0.387	0.585	0.101	0.307	0.000	773.	0.	0.000	16.8	2.980	0.361	529.0	0.1462
119		IC-2R	0.178	0.387	0.585	0.101	0.308	0.000	2359.	0.	0.000	33.3	2.971	0.361	529.0	0.2253
120		ID-2R	0.178	0.387	0.585	0.101	0.305	0.000	1345.	0.	0.000	33.3	3.000	0.361	529.0	0.2178
121	Leonhardt	ET 2	0.150	0.350	0.300	0.075	0.300	0.000	1255.	0.	0.000	23.8	3.500	0.339	333.0	0.1319
122	Walther	ET 3	0.100	0.350	0.300	0.075	0.300	0.000	1256.	0.	0.000	23.8	3.500	0.509	333.0	0.1275
123	/38/	ET 4	0.050	0.350	0.300	0.075	0.300	0.000	1256.	0.	0.000	23.8	3.500	1.018	337.0	0.0991
124	Leonhardt	TA 1	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	17.5	3.000	1.290	426.0	0.3408
125	Walther	TA 2	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	17.5	3.333	0.860	426.0	0.3247
126	/41/	TA 3	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	16.2	3.333	0.587	417.0	0.2780
127		TA 4	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	16.2	3.333	0.343	440.0	0.2350
128		TA 6	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	15.8	3.333	0.587	417.0	0.2378
129		TA 7	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	15.8	3.333	1.296	426.0	0.2732
130		TA 8	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	15.8	3.333	0.587	417.0	0.2275
131		TA 11	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	27.7	3.333	0.598	417.0	0.3408
132		TA 12	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	27.7	3.333	0.343	440.0	0.2702
133		TA 13	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	20.1	3.333	1.296	426.0	0.3487
134		TA 14	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	20.1	3.333	0.864	425.0	0.3389
135		TA 15	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	19.7	3.333	0.598	417.0	0.2977
136		TA 16	0.160	0.440	0.960	0.080	0.375	0.000	2639.	0.	0.000	19.7	3.333	0.587	417.0	0.2987
137	Placas	T 4	0.152	0.305	0.610	0.076	0.271	0.000	810.	0.	0.000	32.4	3.358	0.216	268.0	0.1095
138	Regan	T 5	0.152	0.305	0.610	0.076	0.271	0.000	603.	0.	0.000	33.7	3.358	0.429	268.0	0.1398
139	/53/	T 6	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	25.8	3.597	0.839	268.0	0.2048
140		T 7	0.152	0.305	0.610	0.076	0.263	0.000	1203.	0.	0.000	27.4	3.456	0.216	268.0	0.1095
141		T 8	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	31.2	3.597	0.216	268.0	0.1247
142		T 9	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	20.2	3.597	0.429	268.0	0.1545
143		T 10	0.151	0.305	0.610	0.076	0.271	0.000	603.	0.	0.000	28.2	3.358	0.145	268.0	0.0868
144		T 11	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	37.0	3.597	0.429	268.0	0.1603
145		T 13	0.152	0.305	0.610	0.076	0.271	0.000	603.	0.	0.000	14.5	3.358	0.216	268.0	0.0900
146		T 14	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	33.4	3.597	0.839	268.0	0.2195
147		T 15	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	33.1	7.198	0.216	268.0	0.1046
148		T 16	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	32.7	7.198	0.145	268.0	0.0926
149		T 17	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	33.0	7.198	0.429	268.0	0.1340
150		T 19	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	29.9	5.387	0.216	268.0	0.1135
151		T 20	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	32.1	5.387	0.429	268.0	0.1540
152		T 22	0.152	0.305	0.610	0.076	0.271	0.000	603.	0.	0.000	34.3	3.358	0.216	268.0	0.1095
153		T 25	0.152	0.305	0.610	0.076	0.271	0.000	603.	0.	0.000	54.1	3.358	0.216	268.0	0.1148
154		T 26	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	56.9	3.597	0.429	268.0	0.1794
155		T 27	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	18.8	3.597	0.429	268.0	0.1322
156		T 31	0.152	0.305	0.610	0.076	0.271	0.000	603.	0.	0.000	31.0	3.358	0.216	268.0	0.0949
157		T 32	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	27.6	3.597	0.839	268.0	0.2160
158		T 34	0.152	0.305	0.310	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	33.9	5.387	0.216	268.0	0.1122
159		T 37	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	31.8	3.597	0.839	268.0	0.2090
160		T 38	0.152	0.305	0.610	0.076	0.253	0.000	1606.	0.	0.000	30.2	3.597	0.839	268.0	0.2395
161		W1	0.063	0.305	0.610	0.063	0.258	0.000	1621.	0.	0.000	29.8	3.500	2.160	704.0	0.1603
162		W2	0.063	0.305	0.610	0.063	0.258	0.000	1621.	0.	0.000	12.6	3.500	2.160	704.0	0.0899
163		W3	0.063	0.305	0.610	0.063	0.258	0.000	1621.	0.	0.000	45.5	3.500	2.160	704.0	0.1994
164		W5	0.063	0.305	0.610	0.063	0.258	0.000	1621.	0.	0.000	34.3	3.500	3.250	704.0	0.1896
165		W6	0.063	0.305	0.610	0.063	0.258	0.000	1621.	0.	0.000	33.9	3.500	2.160	640.0	0.1549
166		W7	0.063	0.305	0.610	0.063	0.258	0.000	1621.	0.	0.000	34.3	3.500	2.090	691.0	0.1620
167	Taylor	ST-1-8	0.113	0.305	0.305	0.075	0.256	0.000	591.	0.	0.000	22.0	5.000	0.486	290.0	0.0894
168	/63/	ST-4-8	0.113	0.305	0.305	0.075	0.256	0.000	395.	0.	0.000	24.1	5.000	0.365	290.0	0.0750
169		ST-2-C	0.113	0.305	0.305	0.075	0.256	0.000	591.	0.	0.000	23.0	4.098	0.486	290.0	0.1070
170		ST-3-C	0.113	0.305	0.305	0.075	0.256	0.000	591.	0.	0.000	23.0	4.098	0.486	290.0	0.1060
171		ST-6-C	0.113	0.305	0.305	0.075	0.256	0.000	395.	0.	0.000	19.7	4.098	0.365	290.0	0.0870
172		HSS-1-8	0.113	0.305	0.305	0.075	0.256	0.000	591.	0.	0.000	23.3	5.000	0.321	438.0	0.0880

ANLAGE A2/2: (Fortsetzung)

Nr.	Autor	Bez.	b <sub>0</sub>	d	b	d <sub>0</sub>	h <sub>s</sub>	h <sub>v</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>v</sub>	N <sub>vo</sub>	β <sub>p</sub>	a/h	μ <sub>bü</sub>	β <sub>s,bü</sub>	Q <sub>u,Test</sub>
			m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MN	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>	MN
173	Soerensen	T-21	0.114	0.350	0.400	0.080	0.297	0.000	1400.	0.	0.000	32.5	3.498	0.520	253.0	0.1323
174	/60/	T-22	0.114	0.350	0.400	0.080	0.297	0.000	1400.	0.	0.000	31.1	3.498	0.330	430.0	0.1290
175		T-23	0.114	0.350	0.400	0.080	0.297	0.000	1400.	0.	0.000	34.1	3.498	0.342	353.0	0.1414
176		T-3-A	0.114	0.350	0.400	0.080	0.297	0.000	1400.	0.	0.000	24.5	3.498	0.490	259.0	0.1293
177		T-4-A	0.114	0.350	0.400	0.080	0.297	0.000	1400.	0.	0.000	25.1	3.498	0.340	397.0	0.1344
178		T-1-B	0.114	0.350	0.400	0.080	0.297	0.000	1400.	0.	0.000	23.1	3.498	0.440	259.0	0.1203
179		T-2-B	0.114	0.350	0.400	0.080	0.297	0.000	1400.	0.	0.000	24.9	3.498	0.300	397.0	0.1323
180		T-3-B	0.114	0.350	0.400	0.080	0.297	0.000	1400.	0.	0.000	24.5	3.498	0.290	259.0	0.1180
181		T-4-B	0.114	0.350	0.400	0.080	0.297	0.000	1400.	0.	0.000	24.6	3.498	0.200	397.0	0.1089
182		T-5	0.114	0.350	0.400	0.080	0.297	0.000	1400.	0.	0.000	25.5	3.498	0.200	397.0	0.1120
183	Palaskas	A25	0.191	0.457	0.610	0.102	0.391	0.000	494.	0.	0.000	32.5	3.964	0.100	220.0	0.0859
184	Attiogbe	A25A	0.191	0.457	0.610	0.102	0.388	0.000	494.	0.	0.000	33.0	3.995	0.100	220.0	0.0926
185	Darwin	A50	0.191	0.457	0.610	0.102	0.392	0.000	494.	0.	0.000	26.3	3.954	0.230	220.0	0.1158
186	/52/	A50A	0.191	0.457	0.610	0.102	0.393	0.000	494.	0.	0.000	28.0	3.944	0.240	220.0	0.1100
187		A75	0.191	0.457	0.610	0.102	0.395	0.000	494.	0.	0.000	32.2	3.924	0.304	220.0	0.1425
188		A1	0.191	0.457	0.610	0.102	0.371	0.000	494.	0.	0.000	38.1	4.178	0.345	220.0	0.1394
189		B25	0.191	0.457	0.610	0.102	0.394	0.000	371.	0.	0.000	30.8	3.934	0.112	220.0	0.0788
190		B50	0.191	0.457	0.610	0.102	0.391	0.000	371.	0.	0.000	30.3	3.964	0.239	220.0	0.1073
191		C50	0.191	0.457	0.610	0.102	0.393	0.000	703.	0.	0.000	29.7	3.944	0.239	220.0	0.1345
192		C75	0.191	0.457	0.610	0.102	0.395	0.000	703.	0.	0.000	29.4	3.924	0.323	220.0	0.1380
193	Moayer	P5	0.150	0.320	0.600	0.080	0.287	0.000	649.	0.	0.000	43.0	3.449	0.420	255.0	0.1451
194	Regan	P20	0.150	0.320	0.600	0.080	0.279	0.000	792.	0.	0.000	40.7	3.548	0.210	310.0	0.1202
195	/46/	P21	0.150	0.320	0.600	0.080	0.279	0.000	792.	0.	0.000	42.8	5.376	0.140	310.0	0.0899
196		P22	0.150	0.320	0.600	0.080	0.279	0.000	792.	0.	0.000	43.3	5.376	0.280	255.0	0.1091
197		P23	0.150	0.320	0.600	0.080	0.279	0.000	792.	0.	0.000	43.0	2.366	0.420	255.0	0.1603
198	Braestrup	T5214W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.7	2.925	0.600	324.0	0.2148
199	Nielsen	T5218W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.3	2.925	0.753	324.0	0.2197
200	Finn Bach	T5218E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.3	2.925	0.784	324.0	0.2129
201	Jensen	T6005W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.6	2.925	0.213	324.0	0.1579
202	/8/	T6005E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.6	2.925	0.219	324.0	0.1579
203		T6010E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.3	2.925	0.438	324.0	0.1903
204		T6014W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.4	2.925	0.602	324.0	0.2374
205		T6014E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.4	2.925	0.614	321.0	0.2227
206		T6018W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.0	2.925	0.754	321.0	0.2403
207		T6018E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.0	2.925	0.769	321.0	0.2305
208		T6022W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.4	2.925	0.956	321.0	0.2345
209		T6022E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.4	2.925	0.925	321.0	0.2197
210		T6025W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.2	2.925	1.081	321.0	0.2197
211		T6025E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.2	2.925	1.109	321.0	0.2374
212		T6029W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.6	2.925	1.240	321.0	0.2600
213		T6029E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.6	2.925	1.221	321.0	0.2403
214		T6032W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.8	2.925	1.243	321.0	0.2384
215		T6032E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.8	2.925	1.339	321.0	0.2403
216		T9025W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	12.5	2.925	1.115	321.0	0.2698
217		T9025E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	12.5	2.925	1.103	321.0	0.2600
218		T9032E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	9.9	2.925	1.483	321.0	0.2580
219		T9036W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.5	2.925	1.614	321.0	0.2806
220		T9040W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.3	2.925	1.542	321.0	0.2601
221		T9040E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.3	2.925	1.620	321.0	0.2492
222		T9043W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.3	2.925	1.719	321.0	0.2806
223		T9043E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.3	2.925	1.766	321.0	0.2708
224		T9047W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	12.7	2.925	1.940	321.0	0.2806
225		T9047E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	12.7	2.925	1.866	321.0	0.2982
226		T9060W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.9	2.925	1.068	645.0	0.2403
227		T9060E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.9	2.925	1.068	645.0	0.2384
228		T9065W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.0	2.925	1.223	645.0	0.2403
229		T9065E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.0	2.925	1.223	645.0	0.2403
230		T9071W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.9	2.925	1.370	645.0	0.2600
231		T9071E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.9	2.925	1.370	645.0	0.2403

ANLAGE A2/2: (Fortsetzung)

Nr. Autor	Bez.	$b_o$	$d$	$b$	$d_o$	$h_s$	$h_v$	$A_s$	$A_v$	$N_{Vo}$	$\beta_p$	$a/h$	$\mu_{b\ddot{u}}$	$\beta_{s,b\ddot{u}}$	$Q_{u,Test}$
		m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MN	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>	MN
232	T9078W	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.3	2.925	1.527	645.0	0.2804
233	T9078E	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.3	2.925	1.527	645.0	0.2600
234	T6018DW	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	9.0	2.925	0.787	324.0	0.1805
235	T6018DE	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	9.0	2.925	0.756	324.0	0.1785
236	T9029DW	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.8	2.925	1.182	324.0	0.2403
237	T9029DE	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.8	2.925	1.204	324.0	0.2600
238	T6018MW	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.5	2.925	0.648	324.0	0.2197
239	T6018ME	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	10.5	2.925	0.787	324.0	0.2197
240	T9029MW	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.4	2.925	1.262	324.0	0.2806
241	T9029ME	0.200	0.400	0.800	0.090	0.359	0.000	1206.	0.	0.000	11.4	2.925	1.182	324.0	0.2963
242 Haddadin	A2	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	29.2	2.499	0.190	358.0	0.1945
243 Hong	A3	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	30.0	2.499	0.420	345.0	0.2917
244 Mattock	A4	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	28.5	2.499	0.786	345.0	0.3427
245 /20/	A5	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	26.3	2.499	1.260	345.0	0.3876
246	B3	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	27.6	3.375	0.420	345.0	0.2716
247	C2	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	27.8	4.252	0.190	358.0	0.1735
248	C3	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	24.1	4.252	0.420	345.0	0.2604
249	C4	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	25.7	4.252	0.786	345.0	0.3109
250	C5	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	30.4	4.252	1.260	345.0	0.3586
251	E2	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	13.9	2.499	0.190	358.0	0.1692
252	E3	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	13.6	2.499	0.420	345.0	0.1893
253	E4	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	13.4	2.499	0.786	345.0	0.2515
254	E5	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	17.1	2.499	1.260	345.0	0.3076
255	F3	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	44.9	2.499	0.420	345.0	0.3301
256	G3	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	26.2	2.499	0.419	456.0	0.3329
257	G4	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	26.7	2.499	0.629	456.0	0.3838
258	G5	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	26.1	2.499	1.048	456.0	0.4282
259	H1	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	29.2	2.499	0.420	345.0	0.2838
260	H2	0.178	0.470	0.610	0.102	0.381	0.000	2565.	0.	0.000	28.2	2.499	0.420	345.0	0.3189

ANLAGE A2/2: (Fortsetzung)

Nr. Autor	Bez.	b <sub>0</sub>	d	b	d <sub>0</sub>	h <sub>s</sub>	h <sub>v</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>v</sub>	N <sub>vo</sub>	β <sub>p</sub>	a/h	μ <sub>bü</sub>	β <sub>s,bü</sub>	Q <sub>u,Test</sub>
		m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MN	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>	MN
1 Kar	A4	0.125	0.250	0.000	0.000	0.000	0.175	0.	194.	0.083	28.8	3.543	0.000	0.0	0.0548
2 /55/	A6	0.125	0.250	0.000	0.000	0.000	0.175	0.	155.	0.049	28.0	4.057	0.000	0.0	0.0382
3	A7	0.125	0.250	0.000	0.000	0.000	0.175	0.	194.	0.083	30.2	3.943	0.000	0.0	0.0450
4	A8	0.125	0.250	0.000	0.000	0.000	0.175	0.	194.	0.126	34.1	4.229	0.000	0.0	0.0431
5	A9	0.125	0.250	0.000	0.000	0.000	0.175	0.	194.	0.146	33.8	3.943	0.000	0.0	0.0539
6	A10	0.125	0.250	0.000	0.000	0.000	0.175	0.	194.	0.146	31.8	5.086	0.000	0.0	0.0401
7	A12	0.125	0.250	0.000	0.000	0.000	0.175	0.	155.	0.103	34.9	4.057	0.000	0.0	0.0436
8	B3	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.150	0.	155.	0.049	29.1	3.533	0.000	0.0	0.0284
9	B4	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.150	0.	155.	0.048	32.0	4.067	0.000	0.0	0.0289
10	B5	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.150	0.	155.	0.041	28.1	4.600	0.000	0.0	0.0254
11	B6	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.150	0.	194.	0.060	30.2	4.733	0.000	0.0	0.0269
12	B7	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.150	0.	155.	0.065	33.1	3.533	0.000	0.0	0.0396
13	B9	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.150	0.	155.	0.065	33.3	5.067	0.000	0.0	0.0260
14	B10	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.150	0.	155.	0.083	35.5	5.067	0.000	0.0	0.0333
15	I21	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.230	0.	194.	0.128	35.2	3.739	0.000	0.0	0.0490
16	D2	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.215	0.	101.	0.094	35.0	3.535	0.000	0.0	0.0426
17	D4	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.215	0.	194.	0.124	34.8	4.000	0.000	0.0	0.0465
18	D5	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.215	0.	155.	0.117	30.7	3.535	0.000	0.0	0.0440
19	D7	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.215	0.	194.	0.146	34.4	4.000	0.000	0.0	0.0470
20	D8	0.100	0.200	0.000	0.000	0.000	0.230	0.	194.	0.143	34.8	4.696	0.000	0.0	0.0416
21 Arthur	A2	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.091	32.2	4.547	0.000	0.0	0.0249
22 /2/	A4	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.105	47.5	4.547	0.000	0.0	0.0263
23	A5	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.102	47.5	2.274	0.000	0.0	0.0490
24	A9	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.109	37.5	2.274	0.000	0.0	0.0472
25	A11	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.106	37.5	2.274	0.000	0.0	0.0401
26	A12	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.110	36.4	2.274	0.000	0.0	0.0463
27	A17	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.110	41.1	4.547	0.000	0.0	0.0321
28	A18	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.106	43.9	4.547	0.000	0.0	0.0334
29	A19	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.101	41.1	4.547	0.000	0.0	0.0321
30	A20	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.103	46.9	4.547	0.000	0.0	0.0347
31	A21	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.106	42.8	4.547	0.000	0.0	0.0343
32	A22	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.105	42.2	4.547	0.000	0.0	0.0321
33	A23	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.110	45.7	3.413	0.000	0.0	0.0450
34	A24	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.104	39.9	3.413	0.000	0.0	0.0401
35	A25	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.110	43.4	3.413	0.000	0.0	0.0445
36	A26	0.051	0.229	0.152	0.051	0.000	0.201	0.	77.	0.107	38.1	3.413	0.000	0.0	0.0401
37	B1	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.150	46.9	3.360	0.000	0.0	0.0454
38	B2	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.146	43.4	3.360	0.000	0.0	0.0485
39	B3	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.143	48.0	2.522	0.000	0.0	0.0659
40	B4	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.150	51.6	1.754	0.000	0.0	0.0802
41	B5	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.160	52.8	2.522	0.000	0.0	0.0659
42	B6	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.144	41.1	1.680	0.000	0.0	0.0784
43	B8	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.146	52.8	2.522	0.000	0.0	0.0637
44	B9	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.143	43.4	3.360	0.000	0.0	0.0383
45	B11	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.149	52.2	3.360	0.000	0.0	0.0592
46	B12	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.143	55.1	2.243	0.000	0.0	0.0655
47	C3	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.150	45.1	2.243	0.000	0.0	0.0668
48	C4	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.143	43.9	1.401	0.000	0.0	0.0623
49	C5	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.157	51.6	1.401	0.000	0.0	0.1087
50	C6	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	142.	0.157	52.8	1.121	0.000	0.0	0.1349
51	C7	0.051	0.305	0.152	0.051	0.290	0.272	0.	142.	0.150	52.8	2.243	0.000	0.0	0.0601
52	C8	0.051	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	77.	0.149	50.4	1.680	0.000	0.0	0.0810
53	D1	0.064	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	77.	0.151	42.2	3.360	0.000	0.0	0.0593
54	D2	0.064	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	77.	0.147	48.0	3.923	0.000	0.0	0.0503
55	E1	0.076	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	77.	0.142	46.3	2.801	0.000	0.0	0.0574
56	E2	0.076	0.305	0.152	0.051	0.000	0.272	0.	77.	0.146	52.8	2.801	0.000	0.0	0.0668
57 Hicks	7B	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	37.9	0.701	0.000	0.0	0.0809
58 /24/	7A	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	37.9	1.000	0.000	0.0	0.0589
59	3A	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	37.9	1.502	0.000	0.0	0.0461
60	2	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	37.9	2.000	0.000	0.0	0.0353
61	1	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	37.9	2.498	0.000	0.0	0.0319

# ANLAGE A2/3: Daten der Schubversuche an Spannbeton- balken ohne Schubbewehrung

Nr.	Autor	Bez.	b <sub>0</sub>	d	b	d <sub>0</sub>	h <sub>s</sub>	h <sub>v</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>v</sub>	N <sub>vo</sub>	B <sub>p</sub>	a/h	u <sub>bü</sub>	β <sub>s,bü</sub>	Q <sub>u,Test</sub>
			m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MN	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>	MN
62		5	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	37.9	3.000	0.000	0.0	0.0314
63		6	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	37.9	4.299	0.000	0.0	0.0294
64		98	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	37.9	5.502	0.000	0.0	0.0231
65		11A	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	47.6	1.498	0.000	0.0	0.0510
66		118	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	47.6	3.000	0.000	0.0	0.0314
67		12	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	47.6	4.751	0.000	0.0	0.0284
68		13A	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	32.4	1.498	0.000	0.0	0.0353
69		138	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	32.4	3.000	0.000	0.0	0.0265
70		14	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	32.4	4.751	0.000	0.0	0.0199
71		15A	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	43.4	1.498	0.000	0.0	0.0481
72		158	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	43.4	3.000	0.000	0.0	0.0343
73		16	0.038	0.254	0.178	0.070	0.000	0.221	0.	162.	0.157	43.4	4.751	0.000	0.0	0.0255
74	Oleson	B1023	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.255	0.	156.	0.137	35.6	5.380	0.000	0.0	0.0344
75	Sozen	B1024	0.077	0.305	0.152	0.074	0.000	0.256	0.	117.	0.102	25.6	5.359	0.000	0.0	0.0317
76	Siess	B1434	0.079	0.305	0.152	0.074	0.000	0.252	0.	117.	0.093	21.3	3.489	0.000	0.0	0.0406
77	/61/	B1441	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.254	0.	156.	0.123	20.7	3.598	0.000	0.0	0.0438
78		B2317	0.078	0.305	0.152	0.074	0.000	0.270	0.	184.	0.000	46.7	2.822	0.000	0.0	0.0472
79		BD1418	0.073	0.305	0.151	0.074	0.000	0.257	0.	153.	0.130	44.0	3.556	0.000	0.0	0.0552
80		BD1419	0.074	0.305	0.151	0.074	0.000	0.259	0.	156.	0.121	46.3	3.529	0.000	0.0	0.0508
81		BD1427	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.256	0.	117.	0.089	26.5	3.570	0.000	0.0	0.0438
82		BD1428	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.256	0.	117.	0.095	29.2	3.570	0.000	0.0	0.0454
83		BD1434	0.076	0.305	0.154	0.074	0.000	0.260	0.	117.	0.089	18.8	3.515	0.000	0.0	0.0401
84		BD1435	0.075	0.305	0.154	0.074	0.000	0.256	0.	117.	0.087	17.9	3.570	0.000	0.0	0.0297
85		BD1442	0.074	0.305	0.152	0.074	0.000	0.256	0.	156.	0.115	20.5	3.570	0.000	0.0	0.0450
86		BD2432	0.076	0.305	0.154	0.074	0.000	0.256	0.	156.	0.087	21.3	3.570	0.000	0.0	0.0408
87	Sozen	A1223	0.155	0.305	0.000	0.000	0.000	0.237	0.	161.	0.126	38.9	3.857	0.000	0.0	0.0609
88	Zwoyer	A1231	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.219	0.	201.	0.158	40.0	4.174	0.000	0.0	0.0601
89	Siess	A1234	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.208	0.	284.	0.215	55.0	4.394	0.000	0.0	0.0745
90	/61/	A1236	0.155	0.305	0.000	0.000	0.000	0.233	0.	150.	0.118	23.7	3.923	0.000	0.0	0.0490
91		A1242	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.211	0.	284.	0.203	43.1	4.332	0.000	0.0	0.0701
92		A1246	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.208	0.	227.	0.206	32.1	4.394	0.000	0.0	0.0632
94		A1253	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.218	0.	201.	0.150	23.4	4.193	0.000	0.0	0.0548
95		A1256	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.218	0.	234.	0.194	26.1	4.193	0.000	0.0	0.0597
97		A1269	0.155	0.305	0.000	0.000	0.000	0.206	0.	221.	0.177	20.3	4.437	0.000	0.0	0.0558
98		A1273	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.214	0.	284.	0.204	24.1	4.271	0.000	0.0	0.0635
99		A1281	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.220	0.	234.	0.193	17.9	4.155	0.000	0.0	0.0523
100		A1439	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.212	0.	141.	0.114	23.1	2.877	0.000	0.0	0.0657
102		A2227	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.213	0.	114.	0.047	26.5	4.291	0.000	0.0	0.0319
103		A2228	0.155	0.305	0.000	0.000	0.000	0.222	0.	114.	0.039	24.0	4.117	0.000	0.0	0.0297
104		A2231	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.205	0.	114.	0.070	24.3	4.459	0.000	0.0	0.0341
105		A2234	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.211	0.	151.	0.061	28.6	4.332	0.000	0.0	0.0317
106		A2236	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.212	0.	114.	0.069	19.9	4.311	0.000	0.0	0.0338
107		A2239	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.214	0.	114.	0.028	17.8	4.271	0.000	0.0	0.0249
108		A2240	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.208	0.	246.	0.122	40.0	4.394	0.000	0.0	0.0597
109		A2249	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.208	0.	246.	0.096	32.8	4.394	0.000	0.0	0.0521
113		A3222	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.238	0.	114.	0.019	22.9	3.840	0.000	0.0	0.0323
114		A3227	0.152	0.305	0.000	0.000	0.000	0.233	0.	114.	0.008	19.3	3.923	0.000	0.0	0.0288
115		A3237	0.155	0.305	0.000	0.000	0.000	0.208	0.	246.	0.008	42.2	4.394	0.000	0.0	0.0400
116		A3249	0.155	0.305	0.000	0.000	0.000	0.208	0.	246.	0.058	32.8	4.394	0.000	0.0	0.0475
118		B1120	0.075	0.305	0.150	0.074	0.000	0.259	0.	115.	0.098	31.2	5.297	0.000	0.0	0.0311
119		B1129	0.075	0.305	0.151	0.074	0.000	0.254	0.	154.	0.132	28.3	5.402	0.000	0.0	0.0387
120		B1140	0.075	0.305	0.151	0.074	0.000	0.254	0.	232.	0.187	31.0	5.402	0.000	0.0	0.0468
122		B1210	0.078	0.305	0.152	0.074	0.000	0.282	0.	78.	0.066	38.6	3.241	0.000	0.0	0.0359
123		B1212	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.283	0.	78.	0.067	31.5	3.230	0.000	0.0	0.0362
124		B1214	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.283	0.	78.	0.066	26.5	3.230	0.000	0.0	0.0381
125		B1219	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.292	0.	78.	0.066	19.9	3.241	0.000	0.0	0.0388
126		B1226	0.077	0.305	0.156	0.074	0.000	0.256	0.	150.	0.114	30.7	3.570	0.000	0.0	0.0527
127		B1229	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.248	0.	154.	0.129	28.8	3.685	0.000	0.0	0.0567
128		B1234	0.078	0.305	0.157	0.074	0.000	0.259	0.	225.	0.167	33.4	3.529	0.000	0.0	0.0647
129		B1235	0.078	0.305	0.160	0.074	0.000	0.254	0.	154.	0.128	22.1	3.598	0.000	0.0	0.0515
130		B1250	0.075	0.305	0.152	0.074	0.000	0.259	0.	193.	0.154	20.3	3.529	0.000	0.0	0.0517

ANLAGE A2/3: (Fortsetzung)

Nr. Autor	Bez.	b <sub>0</sub>	d	b	d <sub>0</sub>	h <sub>s</sub>	h <sub>v</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>v</sub>	N <sub>vo</sub>	β <sub>p</sub>	a/h	μ <sub>bü</sub>	β <sub>s,bü</sub>	Q <sub>u,Test</sub>	
		m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MN	N/mm <sup>2</sup>		‰	N/mm <sup>2</sup>	MN	
131	81261	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.251	0.	232.	0.183	20.5	3.641	0.000	0.0	0.0539	
133	81316	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.264	0.	115.	0.100	38.2	2.693	0.000	0.0	0.0595	
134	81326	0.075	0.305	0.152	0.074	0.000	0.255	0.	154.	0.132	31.7	2.788	0.000	0.0	0.0650	
135	81341	0.074	0.305	0.152	0.074	0.000	0.255	0.	232.	0.189	29.8	2.788	0.000	0.0	0.0720	
136	82126	0.075	0.305	0.152	0.074	0.000	0.259	0.	154.	0.066	30.5	5.290	0.000	0.0	0.0280	
137	82209	0.075	0.305	0.152	0.074	0.000	0.281	0.	77.	0.034	43.6	3.253	0.000	0.0	0.0322	
138	82223	0.076	0.305	0.154	0.074	0.000	0.255	0.	154.	0.059	35.3	3.584	0.000	0.0	0.0422	
139	82230	0.079	0.305	0.156	0.074	0.000	0.258	0.	113.	0.044	19.1	3.543	0.000	0.0	0.0341	
140	82241	0.080	0.305	0.159	0.074	0.000	0.255	0.	150.	0.053	18.7	3.584	0.000	0.0	0.0395	
141	82265	0.079	0.305	0.157	0.074	0.000	0.253	0.	150.	0.062	12.1	3.613	0.000	0.0	0.0250	
142	82268	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.251	0.	232.	0.094	18.4	3.641	0.000	0.0	0.0428	
143	83115	0.075	0.305	0.152	0.074	0.000	0.259	0.	115.	0.000	40.1	5.297	0.000	0.0	0.0202	
144	83211	0.075	0.305	0.152	0.074	0.000	0.264	0.	77.	0.000	36.0	3.462	0.000	0.0	0.0231	
145	83219	0.079	0.305	0.156	0.074	0.000	0.259	0.	113.	0.000	29.9	3.529	0.000	0.0	0.0241	
146	83231	0.079	0.305	0.157	0.074	0.000	0.259	0.	113.	0.000	18.7	3.529	0.000	0.0	0.0177	
147	83234	0.081	0.305	0.159	0.074	0.000	0.257	0.	115.	0.000	17.3	3.556	0.000	0.0	0.0223	
148	83241	0.075	0.305	0.152	0.074	0.000	0.269	0.	193.	0.000	22.5	3.398	0.000	0.0	0.0364	
149	83254	0.076	0.305	0.152	0.074	0.000	0.264	0.	231.	0.000	22.1	3.462	0.000	0.0	0.0329	
150	C1209	0.044	0.305	0.152	0.079	0.000	0.280	0.	78.	0.068	44.5	3.264	0.000	0.0	0.0377	
151	C1218	0.044	0.305	0.152	0.079	0.000	0.246	0.	121.	0.095	36.6	3.715	0.000	0.0	0.0409	
152	C1219	0.045	0.305	0.152	0.079	0.000	0.257	0.	150.	0.115	41.6	3.556	0.000	0.0	0.0505	
153	C1232	0.047	0.305	0.157	0.079	0.000	0.250	0.	150.	0.107	24.9	3.656	0.000	0.0	0.0356	
154	C1233	0.048	0.305	0.155	0.079	0.000	0.256	0.	241.	0.192	37.7	3.570	0.000	0.0	0.0575	
155	C1240	0.044	0.305	0.155	0.079	0.000	0.246	0.	121.	0.096	17.5	3.715	0.000	0.0	0.0276	
156	C1244	0.044	0.305	0.157	0.079	0.000	0.241	0.	161.	0.112	19.9	3.793	0.000	0.0	0.0292	
157	C1250	0.046	0.305	0.152	0.079	0.000	0.254	0.	193.	0.155	20.8	3.598	0.000	0.0	0.0409	
158	C2229	0.047	0.305	0.157	0.074	0.000	0.264	0.	75.	0.031	17.1	3.462	0.000	0.0	0.0213	
159	C2236	0.047	0.305	0.154	0.074	0.000	0.260	0.	155.	0.064	22.7	3.515	0.000	0.0	0.0249	
160	C2239	0.047	0.305	0.156	0.074	0.000	0.259	0.	114.	0.043	14.8	3.529	0.000	0.0	0.0167	
161	C2240	0.044	0.305	0.157	0.074	0.000	0.250	0.	241.	0.147	31.8	3.656	0.000	0.0	0.0407	
162	C2246	0.045	0.305	0.154	0.074	0.000	0.257	0.	193.	0.077	21.8	3.556	0.000	0.0	0.0291	
163	C2262	0.048	0.305	0.155	0.074	0.000	0.229	0.	150.	0.056	14.2	3.991	0.000	0.0	0.0235	
164	C2273	0.044	0.305	0.152	0.074	0.000	0.252	0.	270.	0.103	20.0	3.627	0.000	0.0	0.0303	
165	C3211	0.045	0.305	0.156	0.074	0.000	0.281	0.	115.	0.000	50.4	3.253	0.000	0.0	0.0229	
166	C3222	0.046	0.305	0.154	0.074	0.000	0.254	0.	114.	0.000	26.7	3.598	0.000	0.0	0.0237	
167	C3237	0.046	0.305	0.156	0.074	0.000	0.254	0.	150.	0.000	21.1	3.598	0.000	0.0	0.0213	
168	C3242	0.048	0.305	0.156	0.074	0.000	0.257	0.	150.	0.000	18.5	3.556	0.000	0.0	0.0188	
169	C3250	0.047	0.305	0.155	0.074	0.000	0.271	0.	230.	0.000	22.2	3.373	0.000	0.0	0.0242	
170	C3280	0.046	0.305	0.152	0.074	0.000	0.254	0.	308.	0.000	20.7	3.598	0.000	0.0	0.0242	
172	Evans	S3	0.051	0.305	0.102	0.076	0.000	0.267	0.	284.	0.055	35.2	4.045	0.000	0.0	0.0470
173	Schumacher	S4	0.051	0.305	0.102	0.076	0.000	0.267	0.	639.	0.055	33.2	4.045	0.000	0.0	0.0657
174	/17/	S5	0.051	0.305	0.102	0.076	0.000	0.267	0.	387.	0.074	33.4	4.045	0.000	0.0	0.0579
176		S8	0.051	0.305	0.102	0.076	0.000	0.257	0.	388.	0.130	27.2	5.436	0.000	0.0	0.0365
177		S9	0.048	0.305	0.102	0.076	0.000	0.257	0.	508.	0.127	29.0	5.019	0.000	0.0	0.0490
178		S10	0.033	0.305	0.102	0.076	0.000	0.254	0.	495.	0.123	29.0	5.500	0.000	0.0	0.0343
179		S11	0.048	0.305	0.102	0.076	0.000	0.257	0.	284.	0.100	31.0	5.436	0.000	0.0	0.0383
180		S12	0.036	0.305	0.102	0.076	0.000	0.257	0.	378.	0.100	31.0	5.436	0.000	0.0	0.0338
181		S13	0.033	0.305	0.104	0.076	0.000	0.257	0.	286.	0.095	34.2	5.436	0.000	0.0	0.0376
182		S14	0.051	0.305	0.102	0.076	0.000	0.257	0.	508.	0.097	28.8	4.447	0.000	0.0	0.0508
183		S15	0.051	0.305	0.102	0.076	0.000	0.254	0.	286.	0.097	26.5	4.500	0.000	0.0	0.0430
184		S16	0.051	0.305	0.102	0.076	0.000	0.254	0.	387.	0.098	32.3	4.500	0.000	0.0	0.0479
185		S17	0.033	0.305	0.104	0.076	0.000	0.262	0.	506.	0.081	35.5	4.363	0.000	0.0	0.0276
186		S18	0.033	0.305	0.104	0.076	0.000	0.257	0.	387.	0.092	28.5	4.447	0.000	0.0	0.0292
187		S19	0.051	0.305	0.102	0.076	0.000	0.257	0.	505.	0.092	28.5	3.658	0.000	0.0	0.0476
188		S20	0.033	0.305	0.104	0.076	0.000	0.254	0.	287.	0.104	26.7	4.500	0.000	0.0	0.0307
189		S21	0.051	0.305	0.102	0.076	0.000	0.257	0.	284.	0.109	26.7	3.658	0.000	0.0	0.0534
190		S22	0.033	0.305	0.104	0.076	0.000	0.262	0.	506.	0.087	22.8	3.588	0.000	0.0	0.0278
192		S24	0.033	0.305	0.104	0.076	0.000	0.257	0.	289.	0.089	35.1	3.658	0.000	0.0	0.0354
193		S25	0.051	0.305	0.102	0.076	0.000	0.257	0.	388.	0.093	35.1	3.658	0.000	0.0	0.0530
194		S26	0.033	0.305	0.104	0.076	0.000	0.249	0.	386.	0.089	33.7	3.775	0.000	0.0	0.0309
195		S27	0.051	0.305	0.102	0.076	0.000	0.257	0.	508.	0.086	33.6	3.658	0.000	0.0	0.0663
197		S35	0.033	0.305	0.107	0.076	0.000	0.262	0.	508.	0.078	37.3	2.714	0.000	0.0	0.0592
198		S36	0.030	0.305	0.107	0.076	0.000	0.262	0.	125.	0.065	33.9	2.714	0.000	0.0	0.0298

ANLAGE A2/3: (Fortsetzung)

Nr. Autor	Bez.	b <sub>0</sub>	d	b	d <sub>0</sub>	h <sub>s</sub>	h <sub>v</sub>	A <sub>s</sub>	A <sub>v</sub>	N <sub>vo</sub>	β <sub>p</sub>	a/h	bü	β <sub>s</sub> ,bü	Q <sub>u,Test</sub>
		m	m	m	m	m	m	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	MN	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>	MN
199	S44	0.030	0.310	0.109	0.076	0.000	0.264	0.	286.	0.050	30.9	2.693	0.000	0.0	0.0305
201	S49	0.079	0.305	0.104	0.076	0.000	0.254	0.	286.	0.107	34.7	2.799	0.000	0.0	0.0358
202	S50	0.079	0.300	0.109	0.076	0.000	0.239	0.	286.	0.108	37.6	2.975	0.000	0.0	0.0448
203	S51	0.079	0.307	0.104	0.076	0.000	0.259	0.	286.	0.109	34.7	2.745	0.000	0.0	0.0374
204	S52	0.079	0.310	0.104	0.076	0.000	0.262	0.	286.	0.101	32.2	2.714	0.000	0.0	0.0432
205	S53	0.030	0.310	0.104	0.076	0.000	0.254	0.	286.	0.101	36.0	2.799	0.000	0.0	0.0374
206	S54	0.030	0.310	0.104	0.076	0.000	0.254	0.	286.	0.107	34.5	2.799	0.000	0.0	0.0318
207 Nielsen	RB1	0.180	0.360	0.000	0.000	0.000	0.302	0.	507.	0.400	49.6	0.500	0.000	0.0	0.5000
208 Braestrup	RB2	0.180	0.360	0.000	0.000	0.000	0.302	0.	507.	0.400	50.6	1.000	0.000	0.0	0.3250
209 /50/	RB3	0.180	0.360	0.000	0.000	0.000	0.302	0.	507.	0.400	54.9	2.000	0.000	0.0	0.1900
210	RB4	0.180	0.360	0.000	0.000	0.000	0.302	0.	507.	0.400	55.3	3.000	0.000	0.0	0.1450
212 Cederwall	6	0.130	0.260	0.000	0.000	0.234	0.234	113.	226.	0.040	33.0	3.419	0.000	0.0	0.0402
213 Hedman	7	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	113.	226.	0.107	23.2	3.419	0.000	0.0	0.0490
214 Losberg	8	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	113.	226.	0.052	18.4	2.564	0.000	0.0	0.0490
215 /12/	9	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	113.	226.	0.109	34.4	2.564	0.000	0.0	0.0638
216	10	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	226.	226.	0.084	22.0	2.564	0.000	0.0	0.0490
217	11	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	226.	226.	0.120	48.4	2.564	0.000	0.0	0.0785
218	12	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	113.	226.	0.094	29.1	2.564	0.000	0.0	0.0577
219	13	0.130	0.260	0.000	0.000	0.000	0.234	113.	226.	0.108	34.0	2.564	0.000	0.0	0.0589
220 Cederwall	842-2	0.130	0.260	0.000	0.000	0.237	0.237	226.	226.	0.120	33.7	2.532	0.000	0.0	0.0677
221 Hedman	842-3	0.130	0.260	0.000	0.000	0.235	0.235	226.	226.	0.120	35.2	2.553	0.000	0.0	0.0765
222 Losberg	842-4	0.130	0.260	0.000	0.000	0.235	0.235	226.	226.	0.122	39.7	2.553	0.000	0.0	0.0706
223 /11/	842-5	0.130	0.260	0.000	0.000	0.236	0.236	226.	226.	0.125	34.0	2.542	0.000	0.0	0.0736

ANLAGE A2/3: (Fortsetzung)